

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA  
SEDE QUITO**

**CARRERA:**

INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:**

INGENIEROS ELECTRÓNICOS

**TEMA:**

DESARROLLO DE GUANTES ELECTRÓNICOS PARA EL PROCESO DE  
REHABILITACIÓN POR MONITOREO DE LA MOTRICIDAD EN LOS DEDOS  
DE LAS MANOS

**AUTORES:**

JONATHAN SEBASTIÁN CAZAR LEIME  
DANIEL ANTHONY IMBA PAUCAR

**TUTOR:**

VÍCTOR VINICIO TAPIA CALVOPÍÑA

Quito, julio del 2020

## **CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR**

Nosotros Jonathan Sebastián Cazar Leime y Anthony Daniel Imba Paucar, con documentos de identificación N° 1720973633 y N° 1722012356, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de titulación intitulado: “DESARROLLO DE GUANTES ELECTRÓNICOS PARA EL PROCESO DE REHABILITACIÓN POR MONITOREO DE LA MOTRICIDAD EN LOS DEDOS DE LAS MANOS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIEROS ELECTRÓNICOS, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Jonathan Sebastián Cazar Leime  
Cédula: 1720973633



.....  
Daniel Anthony Imba Paucar  
Cédula: 1722012356

Quito, julio 2020

## **DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR**

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, “DESARROLLO DE GUANTES ELECTRÓNICOS PARA EL PROCESO DE REHABILITACIÓN POR MONITOREO DE LA MOTRICIDAD EN LOS DEDOS DE LAS MANOS” realizado por Jonathan Sebastián Cazar Leime y Anthony Daniel Imba Paucar, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, julio 2020



---

Víctor Vinicio Tapia Calvopiña  
Cédula de identidad: 1708547219

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	xi
CAPÍTULO 1 ANTECEDENTES	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Justificación .....	2
1.3. Objetivos .....	2
1.3.1. Objetivo general	2
1.3.2. Objetivos específicos	2
1.4. Grupo objetivo .....	3
CAPÍTULO 2 MARCO CONCEPTUAL	4
2.1. Fisiología de la mano .....	4
2.1.1. Sistema Óseo	4
2.1.2. Sistema Nervioso	5
2.1.3. Sistema Muscular	6
2.1.4. Fisiología Muscular Intrínseca	7
2.2. Causales de la pérdida de la motricidad de la mano y dedos .....	9
2.2.1. Síndrome de túnel carpiano	9
2.2.2. Lesiones	9
2.2.3. Tendinitis	10
2.2.4. Síndrome de las manos frías	10
2.2.5. Quiste sinovial	10
2.2.6. Síndrome de Reynaud	10
2.2.7. Enfermedades reumáticas: artrosis y artritis	10
2.3. Tratamientos de rehabilitación.....	11
2.3.1. La estimulación sensorio motriz	12
2.3.2. La psicomotricidad	12

2.3.3. Ejercicios para la recuperación de la motricidad fina en las extremidades superiores	12
2.4. Software App Inventor.....	14
2.5. Sensor flex .....	16
2.6. Amplificador operacional .....	17
2.7. Arduino nano .....	18
2.8. Módulo bluetooth.....	19
2.9. Software Solidworks.....	20
<b>CAPÍTULO 3 DESARROLLO Y PRUEBAS</b>	<b>21</b>
3.1. Propuesta de diseño.....	21
3.2. Hardware.....	21
3.2.1. Galgas extensiométricas	21
3.2.2. Sensor piezo eléctrico	22
3.2.3. Sensor capacitivo	22
3.2.4. Sensor flexible	23
3.2.5. Acondicionamiento de señal	25
3.3. Software .....	27
3.4. Construcción del primer prototipo .....	31
3.5. Programación de la aplicación móvil.....	32
3.5.1. Ventana “SENSORES”	32
3.5.2. Ventana “INTERACTIVO”	40
3.5.3. Ventana “EJERCICIOS”	42
3.6. Pruebas con el primer prototipo .....	42
3.7. Construcción del segundo prototipo .....	45
<b>CAPÍTULO 4 ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>48</b>
4.1. Análisis del primer prototipo .....	48

4.2. Análisis del segundo prototipo.....	49
<b>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>57</b>
5.1. Conclusiones .....	57
5.2. Recomendaciones .....	59
<b>LISTA DE REFERENCIAS</b>	<b>60</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Sistema óseo de la mano .....	5
Figura 2.2. Músculos extrínsecos e intrínsecos de la mano .....	6
Figura 2.3. Ejercicio de mano A .....	12
Figura 2.4. Ejercicio de mano B.....	13
Figura 2.5. Ejercicio de mano C.....	13
Figura 2.6. Ejercicio de mano D .....	14
Figura 2.7. Ejercicio de mano E.....	14
Figura 2.8. Ventana de aplicación App Inventor .....	15
Figura 2.9. Ventana de programación App Inventor.....	16
Figura 2.10. Sensor Flex .....	17
Figura 2.11. Amplificador operacional integrado LM324.....	18
Figura 2.12. Arduino NANO .....	19
Figura 2.13. Módulo Bluetooth HC-05 .....	19
Figura 2.14. Interfaz de diseño Solidworks .....	20
Figura 3.1. Diagrama de bloques general.....	21
Figura 3.2. Galga extensiométrica .....	22
Figura 3.3. Sensor piezo eléctrico .....	22
Figura 3.4. Sensor capacitivo .....	23
Figura 3.5. Sensor flexible .....	23
Figura 3.6. Buffer con amplificador operacional .....	26
Figura 3.7. Diagrama de bloques del hardware.....	26
Figura 3.8. Diagrama de flujo del hardware .....	27
Figura 3.9. Función map() de Arduino.....	28
Figura 3.10. Diagrama de bloques de la aplicación móvil.....	29
Figura 3.11. Ventana principal de la aplicación móvil .....	30
Figura 3.12. Diagrama de flujo de la ventana principal en aplicación móvil .....	30
Figura 3.13. Prototipo de guante número 1 .....	31
Figura 3.14. Circuito implementado en el guante .....	32
Figura 3.15. Diagrama de flujo de la ventana SENSORES .....	33
Figura 3.16. Ventana sensores .....	34

Figura 3.17. Diagrama de flujo de conexión bluetooth.....	35
Figura 3.18. Programación para la base de datos.....	37
Figura 3.19. Programación de interacción de botones individuales.....	38
Figura 3.20. Programación para la ejecución del botón D1 .....	39
Figura 3.21 Ventana de gráficos porcentuales .....	39
Figura 3.22. Ventana INTERACTIVO .....	40
Figura 3.23. Diagrama de flujo ventana INTERACTIVO .....	41
Figura 3.24. Pruebas funcionamiento del guante con el primer paciente .....	43
Figura 3.25. Visualización de datos grupales en aplicación móvil .....	43
Figura 3.26. Pruebas funcionamiento del guante con el segundo paciente.....	44
Figura 3.27. Visualización de datos individuales en aplicación móvil .....	44
Figura 3.28. Esquema del circuito del guante .....	45
Figura 3.29. Diseño 3D de la carcasa del guante .....	46
Figura 3.30. Construcción del segundo prototipo de guantes .....	46
Figura 4.1. Material de reahabilitación de manos .....	50



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Valores de resistencia sensor flex 4,5 pulgadas .....	17
Tabla 2.2. Características del amplificador operacional LM324 .....	17
Tabla 2.3. Características módulo bluetooth HC-05 .....	19
Tabla 3.1. Comparación de sensores .....	24
Tabla 3.2. Valores de resistencia de los sensores flexibles .....	28
Tabla 3.3. Valores de resistencia mano izquierda .....	47
Tabla 3.4. Valores de resistencia mano derecha .....	47
Tabla 4.1. Precio de desarrollo del primer prototipo .....	49
Tabla 4.2. Pruebas 1 y 2 a paciente con pérdida motriz mano derecha .....	51
Tabla 4.3. Pruebas 3 y 4 a paciente con pérdida motriz mano derecha .....	51
Tabla 4.4. Pruebas 1 y 2 a persona con completa movilidad en mano derecha .....	52
Tabla 4.5. Pruebas 3 y 4 a persona con completa movilidad en mano derecha .....	52
Tabla 4.6. Pruebas 1 y 2 a paciente con movilidad en mano izquierda .....	53
Tabla 4.7. Pruebas 3 y 4 a paciente con movilidad en mano izquierda .....	53
Tabla 4.8. Pruebas 1 y 2 a persona con completa movilidad en mano izquierda .....	54
Tabla 4.9. Pruebas 3 y 4 a persona con completa movilidad en mano izquierda .....	54
Tabla 4.10. Promedio individual para los dedos de la mano derecha .....	55
Tabla 4.11. Promedio individual para los dedos de la mano izquierda .....	56
Tabla 4.12. Precio de desarrollo del segundo prototipo .....	56

## **RESUMEN**

El proyecto tuvo como objetivo el desarrollo de guantes electrónicos, los cuales puedan ser utilizados para la ayuda en el proceso de rehabilitación de personas, quienes ya sea por sucesos propios o externos han reducido la movilidad en las extremidades superiores (manos), a través de sensores flexibles, se recopilaron datos del grado de movilidad que ellos tienen en sus partes afectadas, además de ejercicios psicomotrices los cuales ayudan al mejor control en la rehabilitación al ser una ayuda didáctica en el proceso de recuperación.

El software de control y envío de datos se lo desarrolló en la plataforma de Arduino, en donde al activar una señal visual el paciente deberá movilizar el dedo indicado, así enviando los datos a una aplicación móvil, la cual se creó utilizando el software App Inventor, en donde los datos se obtuvieron para posteriormente ser almacenados en una base de datos y así el medico encargado de la rehabilitación, tiene datos específicos del avance de la movilidad en sus dedos.

El hardware se lo diseñó en el software SolidWorks, para su posterior construcción a través de una impresora 3D, el diseño del guante se lo realizó a través de los requerimientos solicitados por la empresa Kamay Solutions S.A., y teniendo en cuenta el sector de la población al cual va dirigido, que son principalmente personas adultas, pero siempre teniendo en cuenta la escalabilidad a la cual se puede alcanzar, es decir el desarrollo del guante para la ayuda en la motricidad fina a menores.

## **ABSTRACT**

The objective of the project was the development of a prototype of an articulated glove, which helps in the rehabilitation of people who have had different type of events either by their own or an external event, and they decrease the mobility on their upper extremities, for this there were used FLEX sensor, the FLEX sensors worked to collect the data on the degree of mobility they had on their affected parts, in addition to psychomotor exercises which help to a better control on their rehabilitation being a didactic help in the recovery process.

The control and data sending software was developed on the Arduino platform, where when a visual signal is send to the patient, this one must move the finger attached to that signal, thus the data are sent to a mobile app, which was developed on the App Inventor software, where data were obtained to be subsequently stored on a database so the doctor in charge of the rehabilitation, has specific data about the progress on the mobility on the fingers.

The hardware was designed on SolidWorks software, for later construction through a 3D printer, the glove design was thought in the requirements of Kamay Solutions S.A. enterprise, and for the people in the sector of the target population, which are mainly adults, but always having in mind the scalability that can be reached, that is the development of the glove to aid in the fine motor skills of children.

## INTRODUCCIÓN

En el campo de la fisioterapia el uso de elementos tecnológicos se ha vuelto indispensable para ayudar y mejorar al proceso de rehabilitación de pacientes con diferentes problemas físicos, la evaluación inicial y el seguimiento a la evolución de las funciones afectadas son fundamentales tanto para enfocar el tratamiento específico que el médico debe aplicar, como para la motivación del paciente para mantener un proceso completo de recuperación.

Desarrollar herramientas específicas para las funciones motrices de flexión en los dedos de las manos se volvió indispensable para la Fundación de Ayuda Social La Buena Semilla, quienes a través de la empresa Kamay Solutions S.A. patrocinaron el diseño e implementación de un par de guantes, los cuales sean capaces de representar el movimiento de flexión que generan los dedos de las manos en valores numéricos, que sean interpretados y evaluados por un médico y sean posteriormente plasmados en el tratamiento adecuado para la recuperación de las funciones motoras.

En el capítulo 1, se presentan los antecedentes para el proyecto, el problema a ser resuelto, los objetivos a alcanzar, y el sector a quien será dirigido el proyecto.

En el capítulo 2, se recopila la información pertinente para el desarrollo del proyecto, se investiga la anatomía de la mano humana y se describen los componentes utilizados para la implementación.

En el capítulo 3, se detalla la construcción del hardware y desarrollo del software de los prototipos de guantes y se realizan las pruebas previas para evaluar su funcionamiento.

En el capítulo 4, se analizan los datos obtenidos con el diseño final de los guantes, a través de las especificaciones y trabajo en conjunto realizados con el médico.

En el capítulo 5, se determinan las conclusiones y las recomendaciones consecuentes con el desarrollo del proyecto.

## **CAPÍTULO 1**

### **ANTECEDENTES**

En el presente capítulo se exponen los antecedentes para el desarrollo del proyecto técnico, dando a conocer hacia quienes va enfocado el proyecto, conociendo la problemática que permita justificar su elaboración a través del planteamiento de objetivos.

#### **1.1. Planteamiento del problema**

La Empresa Kamay Solutions, a través, de su gerente Ing. Santiago Zambrano y el departamento de Ingeniería, plantea una problemática de salud pública a resolver en los campos de la fisioterapia y traumatología, para personas que han sufrido un daño motriz en las manos. Teniendo en cuenta que, en la fisioterapia y la traumatología no se dispone de una herramienta que permita o ayude al profesional a realizar una evaluación cuantitativa, y, por tanto, veraz del daño sufrido el paciente. (Zambrano, 2018)

En la Fundación de ayuda social La Buena Semilla los profesionales encargados del área de traumatología realizan una evaluación del daño motriz sufrido por el paciente con una inspección física, el cual podría ser considerado un método empírico ya que no dispone de una herramienta tecnológica que le permita visualizar de una manera cuantitativa, el daño presente. Esto ocasiona en la mayoría de las veces que el profesional opte por una terapia que puede no ser la adecuada para dicho paciente. (Tapia, 2018)

Además, cuando una persona sufre de daño motriz, las terapias para recuperar la motricidad, suelen ser prolongadas en su duración de tiempo, es así que, la terapia es de lento avance, y al no poder ser visualizado el avance de la recuperación de alguna manera, como la visual u otra, el paciente tiende a desistir en la continuidad de la terapia, lo que ocasiona que no pueda recuperar el cien por ciento de su motricidad, imposibilitando a la persona de desempeñarse correctamente en su vida cotidiana, laboral y social. (Tapia, 2018)

## **1.2. Justificación**

Este proyecto dentro del campo médico de la fisioterapia es relativamente nuevo ya que existen pocas herramientas con este fin, pero no una herramienta dedicada como tal al tratamiento de la motricidad fina. Esta herramienta permitirá realizar una evaluación más precisa sobre el daño concreto en la motricidad, ayudando al profesional a determinar la mejor opción o método a emplear para el tratamiento de rehabilitación. (Zambrano, 2018)

El paciente obtiene un beneficio adicional en su proceso de recuperación ya que él mismo puede ir visualizando el avance en su rehabilitación, permitiendo que la persona no deje el proceso de rehabilitación inconcluso, y así, obtenga resultados satisfactorios al final del tratamiento, permitiendo un mayor desempeño independiente y reinserción de la persona en los aspectos: laboral, mental, físico y social. (Tapia, 2018)

Actualmente existen pocas herramientas con la finalidad de evaluar la motricidad fina, los mismos son excesivamente costosos por lo cual este proyecto está dirigido a las personas de bajos recursos teniendo un impacto social en su beneficio a través de la fundación de ayuda social La Buena Semilla. (Zambrano, 2018)

## **1.3. Objetivos**

### **1.3.1. Objetivo general**

Desarrollar un prototipo de guantes electrónicos que ayuden al proceso de evaluación para rehabilitación de personas con discapacidad motriz en los dedos de las manos.

### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Investigar la estructura y motricidad de la mano humana para el desarrollo de la estructura del prototipo de los guantes
- Desarrollar la interfaz de comunicación para la transferencia de datos y señales entre los guantes y la aplicación móvil.

- Realizar la programación de la tarjeta encargada de la adquisición de datos para la administración de las diferentes modalidades en las cuales operarán los guantes.
- Desarrollar la aplicación móvil para la selección de funciones de los guantes y la recopilación de los valores obtenidos para almacenarlos en una base de datos.
- Realizar el procesamiento de los datos obtenidos para la presentación gráfica porcentual.

#### **1.4. Grupo objetivo**

Personas adultas que han sufrido parálisis parcial en sus extremidades superiores, viéndose afectado el movimiento en las articulaciones de los dedos e impidiendo su correcta motricidad.

## **CAPÍTULO 2**

### **MARCO CONCEPTUAL**

En este capítulo se presenta la teoría acerca de los elementos tanto en hardware como en software que se emplean para la elaboración del proyecto, basado en el análisis de la estructura de la mano.

#### **2.1. Fisiología de la mano**

Es necesario tener en cuenta que la correlación de la física pura con la biofísica en el cuerpo humano es similar. La presencia de las mismas leyes básicas en movimiento, desplazamiento y resistencias son fácilmente demostrables. Por lo cual, cada polea músculo-articular y cada palanca ósea se asemejan a máquinas simples. (Netter, 2015)

Enfocándose en la fisiología de la mano existen 4 puntos básicos para clasificar las patologías, dentro de las cuales se evalúa el progreso a través del tratamiento y rehabilitación oportunos:

- Sistema Óseo
- Sistema Articular
- Sistema Nervioso
- Sistema Muscular

Cada uno de los sistemas anteriormente nombrados tienen sus propias patologías, e imposibilitantes para el correcto funcionamiento de la mano, por lo que se describirán cada uno de ellos desde lo fisiológico hasta lo patológico y el punto exacto donde MAKY-TECH permite valorar los datos en tiempo real. (Tapia, 2018)

##### **2.1.1. Sistema Óseo**

La mano humana consta de 27 huesos llamados huesos del metacarpo:

- 8 huesos carpos (muñeca)
- 5 huesos metacarpianos o metacarpos (palma)



- 5 falanges proximales (dedos)
- 4 falanges intermedias (dedos, ausente en el dedo pulgar)
- 5 falanges distales (dedos)

Figura 2.1. Sistema óseo de la mano



Diagrama de los huesos que conforman la mano, Fuente: Slaudalia.com

El esqueleto de la mano que muestra la Figura 2.1 puede presentar alteraciones por varias causas, como traumatismos o fracturas. Las fracturas a nivel de falanges son las más comunes, seguidas de la fractura del escafoides dentro de los huesos en la muñeca. Esta recuperación de la fractura del escafoides puede tardar más tiempo respecto a otras fracturas. (Prives, Lisenkov, & Bushkovich, 2017)

### 2.1.2. Sistema Nervioso

Con respecto a este punto, alguna patología en este sistema daría como resultado paresia que es la parálisis parcial o debilitamiento de la contractilidad de la musculatura y parálisis total. La estrecha relación muscular con el sistema nervioso permite obtener diferentes diagnósticos al momento de indagar traumatismos, por ejemplo, donde la afectación incluso puede ser combinada, tanto nerviosa como muscular.

Los principales nervios en afectación para la disminución de movimiento o ausencia de este, de manera periférica, son los nervios cubital, radial y mediano. Donde cada uno tiene

inervación específica en diferentes porciones de mano y de músculos del antebrazo, los que son necesarios para los movimientos de las falanges y articulaciones de la mano en general. (Netter, 2015)

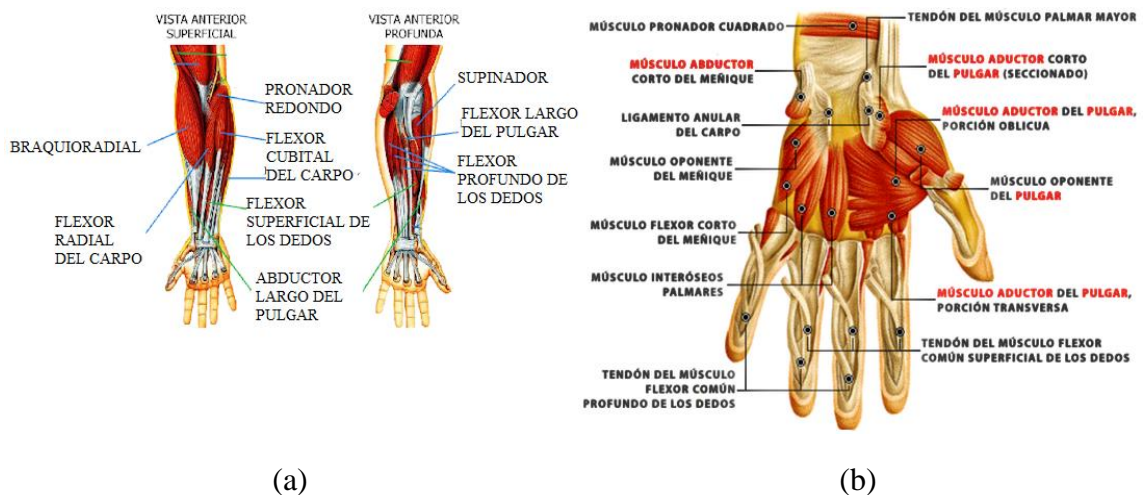
Con esta información, se puede enfocar en la lesión nerviosa específica, en el tratamiento y la rehabilitación, además permite evaluar la mejoría del paciente con valores objetivos gracias a MAKY-TECH.

### 2.1.3. Sistema Muscular

Para englobar todos los elementos que intervienen en la correcta movilidad de las articulaciones de la mano, es necesario especificar que la clasificación de los músculos que intervienen en el movimiento, flexión y extensión de la mano se agrupan en:

Extrínsecos, Figura 2.2(a) (origen externo a la mano, pero inserción en ésta)

Figura 2.2. Músculos extrínsecos e intrínsecos de la mano



Anatomía de los músculos extrínsecos e intrínsecos de la mano, Fuente: Over-blog.com

Intrínsecos Figura 2.2(b) (propios de la mano en origen e inserción). Siendo éstos últimos divididos en 3 grupos: músculos de la región externa o tenar, músculos de la región media central, músculos de la región interna o hipotenar.

Los músculos intrínsecos de la mano tienen una importancia fundamental en su funcionalidad y por tanto un impacto directo en las actividades cotidianas. Una lesión en cualquiera de estos músculos conllevaría a un mal funcionamiento del miembro superior, inclusive causando un impacto colateral a otras estructuras no lesionadas, lo que derivaría en una pérdida de la motricidad parcial o total.

Al realizar un tratamiento para recuperar la motricidad se puede encontrar con especialistas que tratan a la musculatura intrínseca de la mano como un solo grupo de músculos que cumplen una sola función por lo cual aplican un tratamiento generalizado a todos los músculos. Esto, en realidad es una mala práctica en el campo de la fisioterapia, razón por la cual, los especialistas deberían conocer la estructura anatómica y biomecánica, con lo cual poder brindar un tratamiento efectivo, el cual sería evaluado de manera objetiva con la herramienta MAKY-TECH. (Tapia, 2018)

**Músculos de la región externa o tenar:** Este grupo se conforma por cuatro músculos que se encuentran en la parte externa de la mano y anexados al pulgar. Están superpuestos, en orden de profundidad hacia la superficie, en el orden: aductor, flexor corto, oponente, abductor corto pulgar.

**Músculos de la región media o central:** Dentro del grupo medio se encuentran los músculos interóseos y los músculos lumbricales. Los lumbricales se describen con el flexor común profundo, al cual se encuentran anexados. Los intrínsecos ocupan los espacios intermetacarpianos, estos se distinguen en interóseos palmares y dorsales.

**Músculos de la región interna o hipotenar:** Estos músculos están anexados al meñique y son cuatro. Estos se encuentran superpuestos, desde la profundidad a la superficie, estos son: oponente, flexor corto, aductor, cutaneopalmar.

#### **2.1.4. Fisiología Muscular Intrínseca**

**Músculos Centrales: interóseos dorsales, palmares y lumbricales:** Los interóseos dorsales son músculos cortos, prismaticotriangulares, estos cuatro músculos se sitúan en

los espacios intermetacarpianos, procediendo de afuera hacia dentro, desde el pulgar al meñique, estos van desde los metacarpianos a la primera falange hacia el tendón extensor del dedo correspondiente. Los interóseos palmares son músculos cortos y con forma de prismas triangulares, pero más pequeños que los interóseos dorsales, y están en la parte palmar de los espacios intermetacarpianos. La acción de los interóseos dorsales y palmares primero es flexionar la primera falange y extender las otras dos falanges, además, los interóseos dorsales alejan del eje de la mano a los dedos en los que se insertan y los interóseos palmares los aproximan a este eje.

**Músculos de la región hipotenar:** Estos músculos se encargan del movimiento del dedo meñique. El oponente del meñique es corto, aplanado, triangular y se sitúa por delante del quinto metacarpiano, y este dirige al dedo hacia adelante, afuera y lo opone al pulgar. El flexor es fusiforme, delgado y se sitúa por delante del oponente, y es flexor del dedo meñique. El aductor del meñique tiene forma alargada y aplanada, se sitúa en la parte interna y superficial de la hipotenar, es flexor y aductor del meñique (es abductor con relación al eje de la mano). El cutaneopalmar es una lámina muscular de forma aplanada, delgada, cuadrilátera, que se encuentra en el tejido celular subcutáneo y es el encargado de plegar la piel de la eminencia hipotenar.

**Músculos de la región tenar:** El aductor del pulgar es aplanado, se sitúa por delante de los dos primeros espacios interóseos, y es aductor del pulgar. El flexor corto del pulgar tiene forma triangular, bífido por arriba y se encuentra en la parte externa de la palma de la mano, por dentro de la cara palmar y por delante de la parte externa del aductor del pulgar, su acción es dirigir al primer dedo hacia adentro y adelante, más bien es aductor. El oponente del pulgar es un músculo de forma aplanada y triangular, colocado por fuera del fascículo superficial del músculo flexor corto y conduce al primer metacarpiano hacia delante y adentro, oponiéndolo a los otros dedos. El abductor corto del pulgar tiene forma aplanada, delgada y triangular, es el más superficial de los músculos de la región tenar y este dirige al pulgar y a su metacarpiano hacia adentro y adelante, es decir, aductor del pulgar. (Martínez-Piédrola , Pérez de Heredia, & Gómez, 2015)

Ya con la clasificación clara de la función de cada grupo muscular y la afectación en los movimientos de flexión y extensión se puede valorar objetivamente el grado de motricidad en cada uno de los mismos con la ayuda de la herramienta propuesta MAKY-TECH.

## **2.2. Causales de la pérdida de la motricidad de la mano y dedos**

Las causas de la pérdida de la motricidad tanto en la mano como en los dedos de esta suelen presentarse en primera instancia como un dolor, al realizar alguna actividad cotidiana tal como, abrir un frasco de mermelada, sostener libros u otros objetos un poco pesados, así como también por el uso continuo del ratón para aquellas personas que trabajan con computadores.

La pérdida de la movilidad también se puede presentar por distintas lesiones, torceduras, golpes, fracturas o accidentes como quemaduras. Además, los dedos y las manos pueden verse afectadas por enfermedades reumáticas, en este caso se podrá notar dolor, hinchazón, rigidez, así como, dificultad para extender los dedos o sólo uno, estos son síntomas que pueden alertar de una posible afección que pueda sufrir la mano. (Guzmán & Elizondo, 2015)

### **2.2.1. Síndrome de túnel carpiano**

Este síndrome se presenta con mayor frecuencia en el género femenino. Es un conjunto de signos, causado por la presión excesiva sobre un nervio llamado mediano en la muñeca. Dicha presión produce hormigueo, debilidad muscular o dolor en manos y muñeca. El nervio mediano es aquel que permite la sensibilidad y el movimiento en las distintas partes de la mano, el motivo de este síndrome se puede dar por repetición habitual de un mismo movimiento o por el uso de herramientas manuales que vibran. (Universidad Complutense de Madrid, 2017)

### **2.2.2. Lesiones**

Son las resultantes de accidentes que se pueden derivar en fracturas o rotura de ligamentos.

### **2.2.3. Tendinitis**

Es la inflamación de los tendones, esta inflamación puede deberse al uso muy común del ratón, por ejemplo.

### **2.2.4. Síndrome de las manos frías**

Este síndrome se puede reconocer cuando las manos se mantienen frías, aunque no estén en un ambiente frío, cuando la sensación es persistente puede ser un indicativo de una alteración en los nervios, en la circulación sanguínea o un daño en el tejido de las manos o los dedos. (Gonzalez Corona, 2019)

### **2.2.5. Quiste sinovial**

Se produce por acumulación del líquido sinovial en una zona y se puede estar acompañado de dolor o no, es benigno y se puede presentar por esfuerzos repetitivos. Esta afección, se la encuentra de manera frecuente en bailarinas y es muy común en personas que realizan labores de limpieza por estrujar el trapo de piso. A veces se puede reabsorber el quiste y en otras necesita realizar cirugía. Generalmente es indoloro, pero puede provocar dolor si está comprimiendo algún nervio.

### **2.2.6. Síndrome de Reynaud**

Este síndrome es un espasmo de los vasos sanguíneos de los dedos y de las manos, que se presenta como respuesta al frío o al estrés. (Green, Hotchkiss, Pederson, & Wolff, 2020)

### **2.2.7. Enfermedades reumáticas: artrosis y artritis**

Las enfermedades reumáticas son aquellas que afectan al aparato locomotor. En las manos las más frecuentes son:

**Artritis Reumatoidea:** Se puede presentar a cualquier edad, desde niños hasta adultos mayores, con mayor frecuencia en el sexo femenino. Su causa es desconocida, y se le atribuyen factores genéticos y ambientales como predisponentes. Se presenta como una inflamación crónica en la pared sinovial de las articulaciones, produciendo hipertrofia sinovial y destrucción articular con erosiones óseas, debilidad en ligamentos y como

resultado final la ruptura las cuales producen las deformidades características en la mano reumatoidea.

**Artrosis de la mano:** Es la enfermedad reumática más común, en la cual el cartílago hialino articular, se degenera perdiendo su función e inflamándose. Esta se asocia a la reacción del hueso subperióstico y formación de osteofitos que limitan la función de la articulación. (Merle & Portes, 2015)

**Nódulos de Heberden:** La artrosis ataca principalmente a las articulaciones distales de los dedos, estos nódulos producen dolor cuando están en formación y posterior a ello disminuyen su tamaño y cesan en dolor, suelen afectar a uno o varios dedos.

**Nódulos de Bouchard:** Similares a los nódulos de Heberden, pero se presentan con menor frecuencia, los nódulos de Bouchard aparecen en las articulaciones más próximas a los dedos.

**Pulgar en gatillo o Rizartrosis:** Daña a los tendones y poleas encargadas flexionar los dedos de las manos. Esto pasa cuando la polea de la base del dedo se vuelve muy gruesa y comprime el tendón, como consecuencia se torna difícil moverse con libertad por la polea.

Otras patologías reumáticas que pueden afectar a las manos y a sus dedos son la Artropatía de la enfermedad Psoriásica, las espondiloartritis axiales, esclerodermia, enfermedades metabólicas como la Gota. (Guzmán & Elizondo, 2015)

### **2.3. Tratamientos de rehabilitación**

Las personas que han padecido la pérdida de la movilidad en sus extremidades superiores deben realizar una rehabilitación similar a la que se muestra a continuación:

### 2.3.1. La estimulación sensorio motriz

La estimulación sensorio motriz, no se basa únicamente en ejercicios y masajes, sin un fin determinado, se requiere un vasto conocimiento del proceso paso a paso de la estructura cerebral humana, para poder identificar diferentes problemas en la interacción de los diferentes estímulos con el medio ambiente, de ahí la importancia para un diagnóstico precoz. Mientras continua el desarrollo, aumentará la complejidad de la interacción con el medio, motivo por el cual es de suma importancia el tratamiento psicomotriz. (Platzer, Fritsch, & Kahle, 2016)

### 2.3.2. La psicomotricidad

La psicomotricidad es una rama educativa y terapéutica con el fin de desarrollar las habilidades motrices, creativas y expresivas partiendo del cuerpo, lo cual implica que se debe centrar su actividad e interés en el movimiento, implicando de esta manera todo lo relacionado con ello: reacciones, equilibrio, motricidad fina, reflejos, orientación espacial y corporal, percepción y ejecución motriz. (Platzer, Fritsch, & Kahle, 2016)

### 2.3.3. Ejercicios para la recuperación de la motricidad fina en las extremidades superiores

#### Ejercicio A

**Primero:** Doble los dedos hacia la palma (haga un puño).

**Segundo:** Estire los dedos como lo muestra la Figura 2.3.

(Federación Española para la Lucha contra la Esclerosis Múltiple, 2019)

Figura 2.3. Ejercicio de mano A

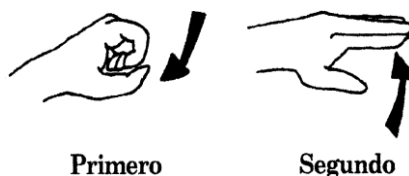


Diagrama ejercicio de mano: movimiento cilíndrico, Fuente: Federación española contra la esclerosis múltiple



## Ejercicio B

**Primero:** Doble el pulgar hacia la palma.

**Segundo:** Descanse el pulgar como lo muestra la Figura 2.4.

(Federación Española para la Lucha contra la Esclerosis Múltiple, 2019)

Figura 2.4. Ejercicio de mano B



Diagrama ejercicio de mano: movimiento de pulgar, Fuente: Federación española contra la esclerosis múltiple

## Ejercicio C

**Primero:** Separe los dedos extendidos.

**Segundo:** Vuelva a juntar los dedos como lo muestra la Figura 2.5.

(Federación Española para la Lucha contra la Esclerosis Múltiple, 2019)

Figura 2.5. Ejercicio de mano C



Diagrama ejercicio de mano: apertura de los dedos, Fuente: Federación española contra la esclerosis múltiple

## Ejercicio D

**Primero:** Mueva el pulgar hacia arriba.

**Segundo:** Doble el pulgar.

**Tercero:** Con el pulgar toque el dedo meñique como lo muestra la Figura 2.6. (Federación Española para la Lucha contra la Esclerosis Múltiple, 2019)

Figura 2.6. Ejercicio de mano D

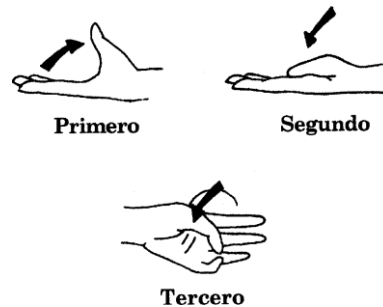


Diagrama ejercicio de mano: unión de pulgar con meñique, Fuente: Federación española contra la esclerosis múltiple

## Ejercicio E

**Primero:** Empiece con los dedos apuntando hacia el techo.

**Segundo:** Doble los nudillos grandes de los dedos (excepto el pulgar), formando un ángulo de 90° con la palma de la mano. Suba los dedos rectos como lo muestra la Figura 2.7. (Federación Española para la Lucha contra la Esclerosis Múltiple, 2019)

Figura 2.7. Ejercicio de mano E

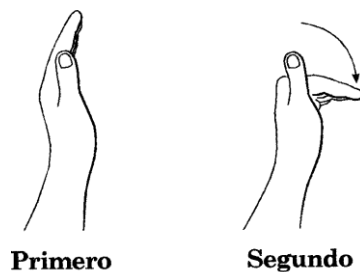


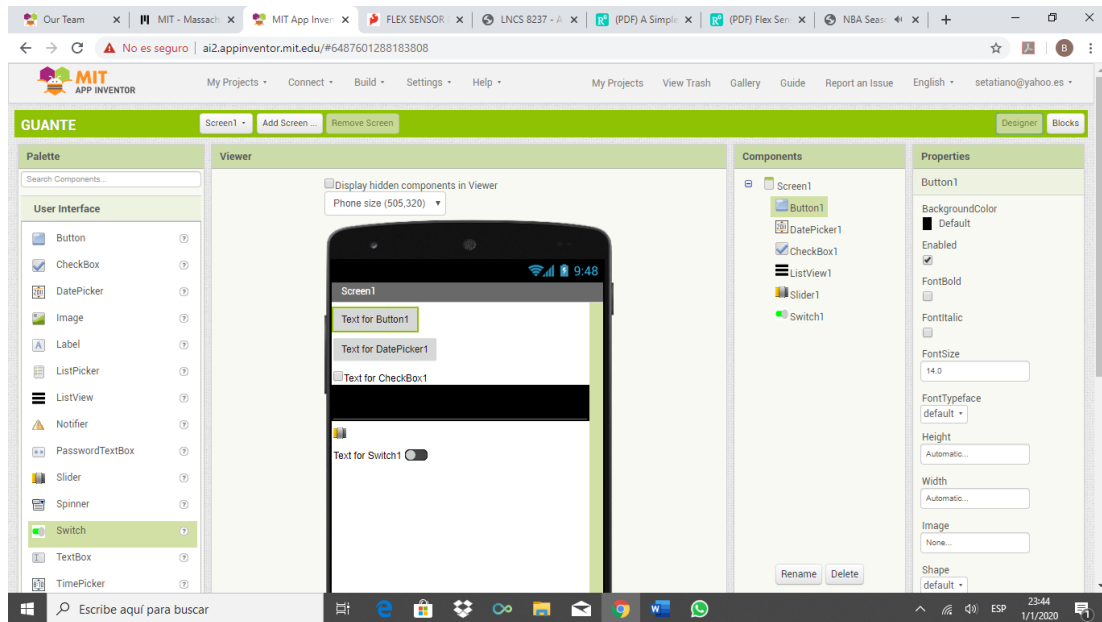
Diagrama ejercicio de mano: flexión de dedos a 90°, Fuente: Federación española contra la esclerosis múltiple

## 2.4. Software App Inventor

Es un ambiente intuitivo de programación visual, que permite el desarrollo de aplicaciones para dispositivos móviles de manera sencilla, gracias a su programación gráfica desarrollada en bloques facilita la creación de aplicaciones, para empezar con la creación de una aplicación solo se necesita loguearse con una cuenta de Google, y debido a que la

programación se la desarrolla dentro de una página web, no es necesario la descarga de ningún programa extra dentro del ordenador, todo el progreso realizado será guardado en la nube con su cuenta de Google, así que lo único necesario es contar con conexión a internet. (Massachusetts Institute of Technology, 2019)

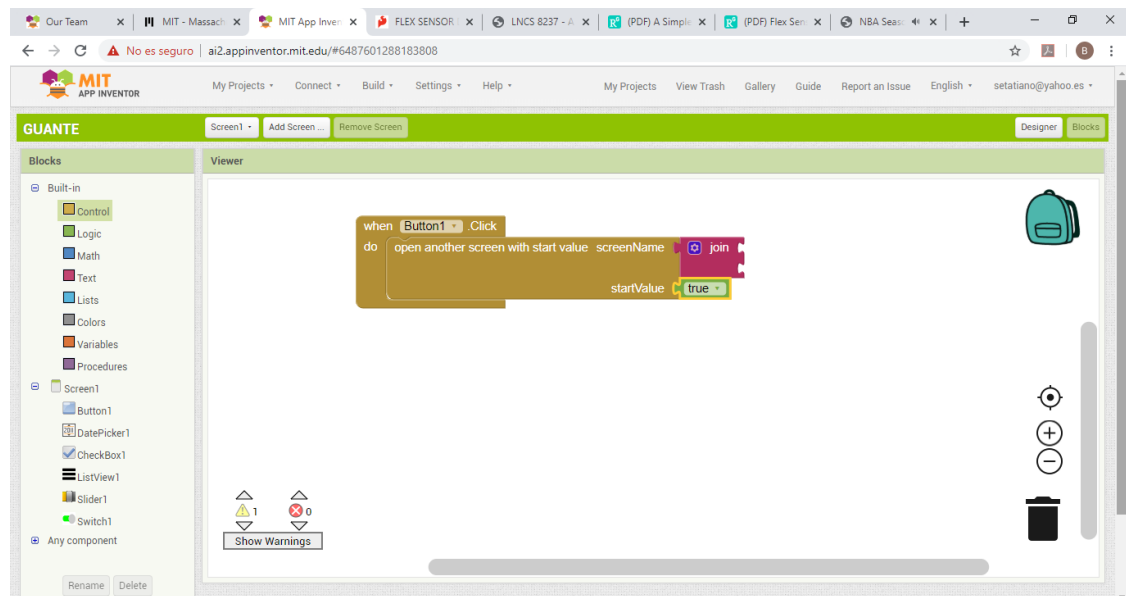
Figura 2.8. Ventana de aplicación App Inventor



Ventana de visualización de la aplicación, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

La Figura 2.8 muestra la ventana dentro de la cual se seleccionan y ubican los elementos que serán utilizados en la aplicación móvil, solo es necesario ubicarlos en la pantalla del dispositivo virtual, mientras que a la derecha estos elementos pueden ser configurados visualmente, para posteriormente ser definida su interacción, en la parte superior derecha de la ventana al presionar el botón “Blocks” el cual redirige al apartado de programación (Figura 2.9).

Figura 2.9. Ventana de programación App Inventor



Ventana de programación para la interacción de los elementos de la aplicación móvil, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

## 2.5. Sensor flex

El sensor Flex (Figura 2.10), es un sensor de tipo resistivo, el cual al variar la curvatura a lo largo de su estructura aumenta o disminuye el valor de la resistencia entregada. Este tipo de sensor tiene una alta tolerancia a ambientes duros, al polvo y a la contaminación; trabaja con tiempos de respuesta relativamente rápidos.

Está diseñado para trabajar en varios contornos sin afectar la funcionalidad del sensor; además de su alta durabilidad que permite realizar más de 30 millones de ciclos de doblado para lo cual los valores de resistencia se muestran en la Tabla 2.1, puede ser usado bajo el agua y soportar un trabajo continuo a 200°C. Se lo puede encontrar en diferentes formas y tamaños; puede ser monitoreado de manera sencilla e integrarlo en diferentes tipos de aplicaciones, para lo cual debe ser configurado dependiendo del trabajo que se desea realizar. ( Flexpoint Sensor Systems, Inc., 2019)

Figura 2.10. Sensor Flex



Sensor Flex de 4.5 pulgadas, Fuente: Gearbest.com

Tabla 2.1. Valores de resistencia sensor flex 4,5 pulgadas

Ángulos de flexión	Resistencia (Ohm)
Resistencia sin doblar	~9000
Resistencia a 90°	~14000
Resistencia a 180°	~22000

Valores teóricos de resistencia al flexionar el sensor en varios ángulos, Fuente: Agelectronica.com

## 2.6. Amplificador operacional

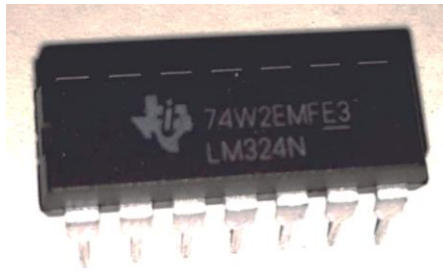
El amplificador operacional LM324 (Figura 2.11) es un integrado de cuatro diferentes amplificadores operacionales que trabajan de manera independiente, tienen una alta ganancia interna y están estructurados para funcionar con una sola fuente de alimentación. Las áreas de aplicación para el amplificador operacional son diversas, como: amplificador transductor, ganancia de voltaje DC y circuitos que pueden ser implementados con un sistema de una sola fuente de alimentación, sus características se las muestra en la Tabla 2.2. (STM Microelectronics, 2019)

Tabla 2.2. Características del amplificador operacional LM324

Característica	Descripción
Alta ganancia de voltaje DC	100dB
Rango de alimentación de voltaje Vcc	3V ~ 32V
Consumo de corriente bajo	700uA
Drenaje de energía adecuado	Funcionamiento con batería

Características del amplificador operacional LM324, Fuente: STM Microelectronics

Figura 2.11. Amplificador operacional integrado LM324



Amplificador operacional LM324, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

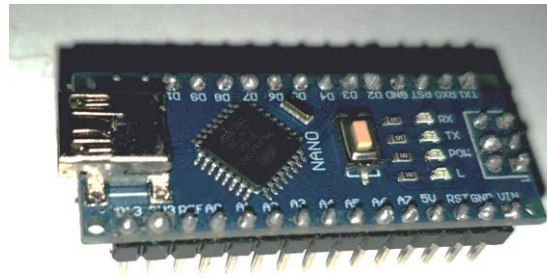
## 2.7. Arduino nano

El Arduino NANO (Figura 2.12) es una tarjeta basada en la memoria ATmega328P de 32KB, que es un microcontrolador de alto rendimiento, este Arduino NANO es un hardware de código abierto que posee 14 pines digitales que se los puede usar tanto como entrada o salida a través de la programación, usando la funciones: `pinMode()`, `digitalWrite()`, y `digitalRead()`; los pines operan a 5V y cada uno de ellos puede ofrecer o recibir hasta 40mA; además de otros pines que tienen diferentes funciones, como: comunicación serial, interrupciones externas, PWM, SPI, LED.

Este tipo de Arduino posee 8 entradas análogas, cada una provee 10 bits de resolución y tiene pines con diferentes funciones específicas como I2C. Hay otro tipo de pines en la tarjeta que son: AREF y Reset. No posee un conector USB estándar sino usa un USB tipo mini-B.

La tarjeta ofrece diferentes tipos de comunicación, tanto con la computadora, otros Arduinos u otros microcontroladores; los tipos de comunicación que la tarjeta ofrece son; serial, que está disponible en los pines 0 para recepción de datos RX, y 1 para la transmisión de datos TX, en la tarjeta se puede comunicar a través del puerto USB con los drivers hacia la computadora por el puerto de comunicación y dentro del software de Arduino se incluye un monitor con el que se puede enviar información de texto hacia la tarjeta Arduino, y los LED's en la tarjeta de RX y TX parpadean mientras se está enviando o recibiendo información. (Arduino, 2019)

Figura 2.12. Arduino NANO



Tarjeta Arduino NANO, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

## 2.8. Módulo bluetooth

El módulo bluetooth HC-05 (Figura 2.13) es un módulo que usa protocolo de puerto serial, diseñado para una configuración de conexión serial inalámbrica, este tipo de comunicación serial describe una manera fácil de transferir datos hacia un controlador o un ordenador. El módulo HC-06 está disponible solo para usarse como esclavo a diferencia del HC-05 que tiene doble funcionalidad (maestro/esclavo), sus características las describe la Tabla 2.3. (Itead studio, 2017)

Tabla 2.3. Características módulo bluetooth HC-05

Característica	Descripción
Código de conexión	1234(por defecto)
Voltaje de alimentación	3,6 a 6 voltios
Alcance	5 a 10 metros
Consumo de corriente	30~40mA
Tipo de comunicación	Serial

Tabla de características módulo bluetooth HC-05, Fuente: Itead Studio

Figura 2.13. Módulo Bluetooth HC-05



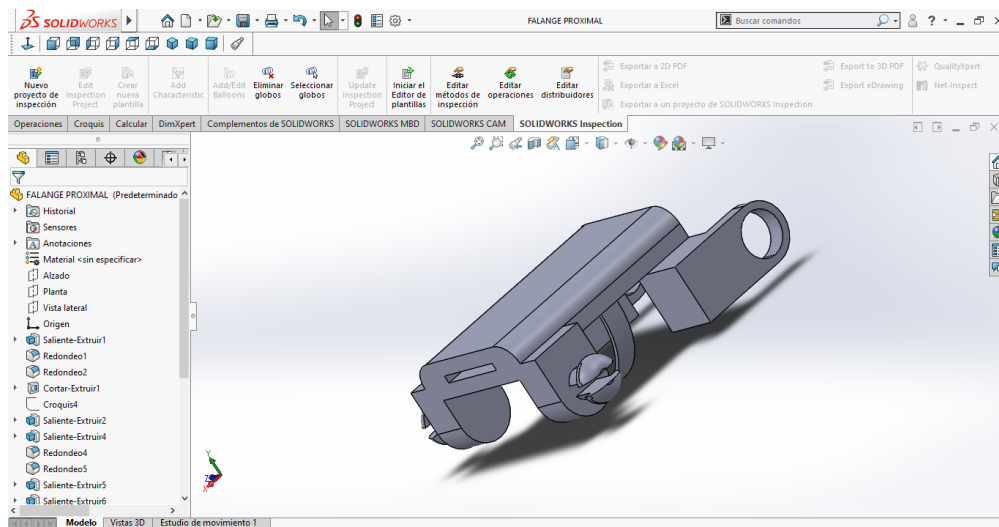
Módulo bluetooth HC-05, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

## 2.9. Software Solidworks

SOLIDWORKS cuya interfaz la muestra la Figura 2.14, es un software de tipo CAD, es decir es un sistema de diseño asistido por computadora, por sus siglas en inglés, este software sirve para el diseño de elementos tanto en 2D como en 3D, incluye diversas herramientas para el desarrollo de piezas, gracias a sus bibliotecas permite el fácil diseño y estimación de costes de fabricación, optimizando su proceso de desarrollo. (Autodesk Inc., 2019)

Solidworks ofrece certificaciones, las cuales destacan: CSWA (Certified SolidWorks Associate), CSWP (Certified SolidWorks Professional) y CSWE (Certified SolidWorks Expert). (Dassault systems, 2019)

Figura 2.14. Interfaz de diseño Solidworks



Diseño de pieza 3D en software Solidworks para impresión, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel



## CAPÍTULO 3

### DESARROLLO Y PRUEBAS

En este capítulo se analizará el desarrollo de la construcción de los guantes, tanto en hardware como en software, para la tarjeta de adquisición y la aplicación móvil.

#### 3.1. Propuesta de diseño

En la Figura 3.1 se muestra el diagrama de bloques que describe el funcionamiento general de los guantes, en el cual avanza por las etapas de sensado, acondicionamiento de la señal recibida por los sensores, envío de datos por el puerto serial a través del módulo bluetooth y la recepción junto con la administración de datos en la aplicación móvil.

Figura 3.1. Diagrama de bloques general

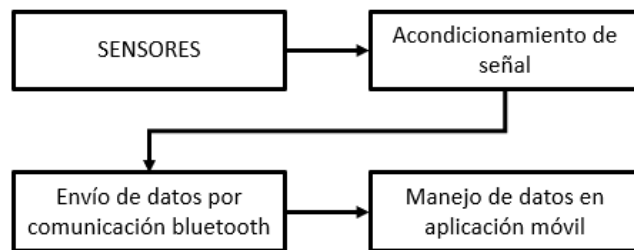


Diagrama de bloques del funcionamiento general de los guantes, Autores: Sebastián Cazar, Imba Daniel.

#### 3.2. Hardware

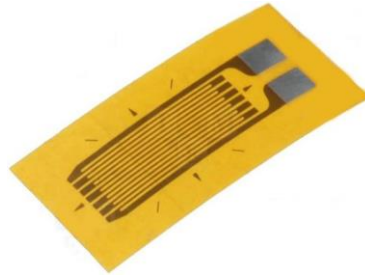
Para el desarrollo del Hardware se comenzó con la selección de los sensores los cuales interactúan con los dedos, y brindan los datos para ser recopilados; se tomaron en cuenta diferentes tipos de sensores como galgas extensiométricas, acelerómetros, sensores piezo eléctricos, sensores capacitivos y sensores flexibles.

##### 3.2.1. Galgas extensiométricas

En este tipo de sensor que muestra la Figura 3.2 se mide la cantidad de deformación del material cuando una fuerza es aplicada sobre él, cuando el material es estirado o comprimido, el área transversal cambia, y en el caso de la galga extensiométrica, es usado

un fino cable que está distribuido en forma de malla, este es colocado en el objeto que se desea medir, y el cable en el sensor variara a medida que el objeto a medir también lo haga, esta variación en el área transversal, es proporcional a un valor en resistencia, pero estos cambios son muy pequeños y están en el orden de 0.1%. ( Flexpoint Sensor Systems, Inc., 2019)

Figura 3.2. Galga extensiométrica



Diseño de una galga extensiométrica, Fuente: Sensoricx.com

### 3.2.2. Sensor piezo eléctrico

El nombre proviene del griego piezo que significa presión, cuando se aplica presión en este tipo de sensor que muestra la Figura 3.3, se deforma, y como resultado se obtiene una corriente eléctrica temporal, la cual se la puede medir a la salida del sensor. ( Flexpoint Sensor Systems, Inc., 2019)

Figura 3.3. Sensor piezo eléctrico



Vista frontal y posterior de un sensor piezo eléctrico, Fuente: Hetpro-store.com

### 3.2.3. Sensor capacitivo

El sensor capacitivo que muestra la Figura 3.4, está conformado por dos platinas conductoras, y el valor de capacitancia depende de la distancia entre ellas, cuando el valor

de dicha capacitancia varia significa que existe una distancia de separación entre las platinas, e incluso puede variar si entre ellas se interpone un objeto que sea conductivo. ( Flexpoint Sensor Systems, Inc., 2019)

Figura 3.4. Sensor capacitivo



Sensor capacitivo para detección de plástico, vidrio, cerámica y metal, Fuente: Cl.rsdelivers.com

#### 3.2.4. Sensor flexible

Este sensor que muestra la Figura 3.5, está formado por una simple capa de material, en el cual se encuentran impresos varios canales sobre la delgada lámina, a medida que el sensor es flexionado el valor de resistencia aumenta, y dependiendo del grado de flexión aplicado sobre el sensor puede variar su valor de resistencia en un 1000% ( Flexpoint Sensor Systems, Inc., 2019)

Figura 3.5. Sensor flexible



Vista superior de sensor flexible de 4,5 pulgadas, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

A continuación, con la descripción de los sensores se realiza una tabla comparativa (Tabla 3.1), en la cual se observan los pros y los contras para la selección del sensor adecuado que se utilizaran en la construcción del guante.

Tabla 3.1. Comparación de sensores

<b>Tipo de sensor</b>	<b>Salida</b>	<b>Construcción</b>	<b>Pros</b>	<b>Contras</b>
Galgas extensio métricas	Tanto en la extensión o en la compresión del sensor este va variando en un 0,1%	Fino cable en forma de malla sobre un material deformable	Muy preciso, vuelve a su posición inicial rápidamente, sirve en gran variedad de aplicaciones y soporta varios rangos de fuerza	Instalación complicada, costo alto comparado a otras tecnologías, y requiere equipo de medición específico
Sensor piezo eléctrico	Se obtiene un valor de voltaje cuando el cristal es deformado, si el sistema no se encuentra en movimiento no entrega ningún valor	El piezo cristal se encuentra dentro de dos platinas metálicas	Tiene un bajo costo	El material suele expandirse cuando se está cargando, y no regresa a inmediatament e a su volumen inicial después de la descarga
Sensor capacitiv o	Al variar la capacitancia varía el valor del voltaje de salida	Constituido por dos platinas metálicas con una separación nominal entre sí	No se requiere aplicar una fuerza para su activación, mejor respuesta que los sensores tipo resistivos	Para su interacción se requiere un dieléctrico o un conductor, no trabaja bien con guantes, no es resistente al agua o a químicos
Sensor flexible	El valor de resistencia varia con respecto a la deformación o la flexión del sensor	Una capa simple impresa sobre un material flexible	Se puede deformar siendo adaptable a varios contornos, siendo capaz de soportar más de 30 millones de deformaciones, resistente al agua y a químicos, fácilmente	Los sensores varían entre sí, por lo que es necesaria una calibración previa para su uso dependiendo del tipo de movimiento mecánico que se le vaya a aplicar

			monitoreable e integrable a diferentes aplicaciones	
--	--	--	---	--

Comparación de las características de los sensores, Fuente: Flexpoint sensor systems

Para la aplicación del proyecto, y las necesidades descritas para su uso en rehabilitación por parte del gerente de la empresa el señor Santiago Zambrano, y el doctor Luis Tapia, los sensores flexibles son los óptimos a usarse para la construcción de los guantes, teniendo como criterio la variación y la deformación que se necesita al momento de flexionar los dedos, ya que como se lo describe en la Tabla 3.1 la cantidad de flexiones que se puede realizar sin alterar el sensor supera los 30 millones de deformaciones, además las dimensiones que ofrece el sensor flexible se ajustan de excelente manera sobre cada uno de los dedos al colocarse el guante.

La variación de los valores de resistencia al momento de flexionar el sensor son otro criterio para tomar en cuenta, tienen un amplio rango de trabajo al cual se puede acceder ya que ofrece una resistencia mínima cuando no está flexionado en 0 grados, hasta una resistencia extrema al momento de la flexión del sensor con el movimiento de los dedos. El valor de voltaje de alimentación del Arduino NANO y el valor de voltaje entregado por el mismo de 5V, se ajusta perfectamente con el soportado por el sensor flexible.

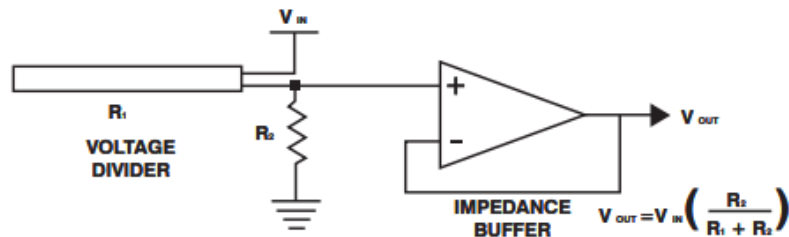
Debido a que lo necesario es calcular la flexión de los dedos mas no determinar una posición, el tipo de movimiento que permite determinar el sensor flexible es ideal para la aplicación desarrollada. Al ser un proyecto de ayuda social, la empresa Kamay Solutions S.A. solicitó realizar un proyecto que fuera accesible en cuanto a precio, por lo que el valor monetario de los sensores no es muy elevado y al comprarlos por mayor se tiene un beneficio económico.

### **3.2.5. Acondicionamiento de señal**

El acondicionamiento de señal de los sensores flexibles se lo puede realizar con un circuito buffer básico como lo muestra la Figura 3.6, este circuito es típicamente usado con los sensores flexibles debido a la baja corriente de polarización del amplificador operacional,

reduciendo así el error que se pueda obtener debido a la impedancia generada por el sensor al ser usado como divisor de voltaje. (Spectra Symbol, 2019)

Figura 3.6. Buffer con amplificador operacional



Circuito buffer básico para sensor flexible, Fuente: Spectrasymbol.com

Además, cabe resaltar que el fabricante sugiere otros 3 diferentes tipos de configuraciones: conversor de resistencia a voltaje, switch de deflexión variable y buffer ajustable; para los propósitos de lectura de los sensores y su variación de resistencia el circuito básico de conexión buffer es el indicado, junto a los circuitos integrados LM324 y LM358, los cuales por la cantidad de amplificadores operacionales de los que se encuentra compuesto, 4 y 2 respectivamente, satisface las necesidades de conexión dentro del circuito, el diagrama de bloques de la Figura 3.7 describe las etapas de proceso de la parte electrónica, y su funcionamiento a través de diagrama de flujo lo muestra la Figura 3.8.

Figura 3.7. Diagrama de bloques del hardware

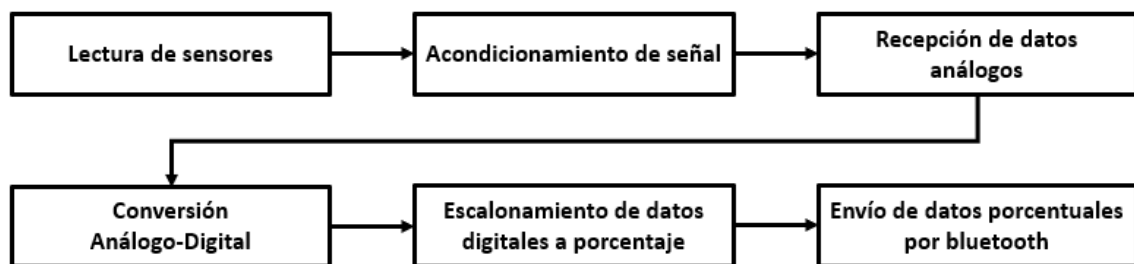


Diagrama que describe el funcionamiento de las etapas de acción de la parte electrónica, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel.

Figura 3.8. Diagrama de flujo del hardware



Diagrama de flujo para la etapa de acondicionamiento de señal, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel.

### 3.3. Software

La programación en el software Arduino para la recopilación y procesamiento de los valores obtenidos por los sensores se la realiza a través de una previa calibración de los sensores flexibles, ya que varían sus valores de resistencia de un sensor a otro y también varían con los valores teóricos obtenidos del fabricante, en la Tabla 3.2 se muestran los valores medidos de los sensores flexibles de 2.2 pulgadas.

Tabla 3.2. Valores de resistencia de los sensores flexibles

Sensor	Resistencia min k $\Omega$	Resistencia max k $\Omega$
Pulgar (38)	26	38
Índice (54)	15.5	25
Medio (52)	27	55
Anular (28)	24	55
Meñique (45)	25	43

Valores prácticos de resistencia medidos en K $\Omega$  de los sensores flexibles, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Con los valores obtenidos se procede a la calibración de los sensores dentro de la programación en la interfaz del software Arduino, cada valor de resistencia obtenido es independiente de cada sensor por lo que es necesario realizar el mismo código para cada uno de los sensores ubicados en los dedos.

Los datos recogidos del sensor flexible pasan por un filtro digital por media, para obtener un valor preciso generado de la cantidad de flexión que cada dedo realiza, dentro de un rango de 150 datos, y posteriormente realizar una equivalencia con la función map() de Arduino (Figura 3,9), con esta opción solo se necesita definir los valores mínimo y máximo que entrega el sensor y equiparlos dentro del rango de porcentaje de 0% a 100% que tendrá la variación en la flexión de cada dedo y siendo enviados por comunicación Bluetooth hacia la aplicación móvil.

Figura 3.9. Función map() de Arduino

```
float a1 = map(a, 235, 85, 0, 100.0); //3.3k ohm pulgar
```

Función map() para equivalencia entre sensor y porcentaje, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Cabe recalcar que la variable “a” es propia del sensor del dedo pulgar, para el cálculo de los sensores de los demás dedos se cambian el nombre de las variables con b(índice), c(medio), d(anular) y e(meñique), definidos con las mismas variables para los dedos en ambas manos, y con el valor obtenido almacenado en la variable “a1” es posible utilizarlo para realizar las comparaciones y las mediciones correspondientes a cada dedo.



Las etapas de procesamiento de la información dentro de la aplicación móvil las describe el diagrama de bloque de la Figura 3.10, en ésta, se muestra el funcionamiento de navegación a través de las diferentes ventanas programadas de acuerdo con las necesidades del médico y gerente de la empresa.

Figura 3.10. Diagrama de bloques de la aplicación móvil

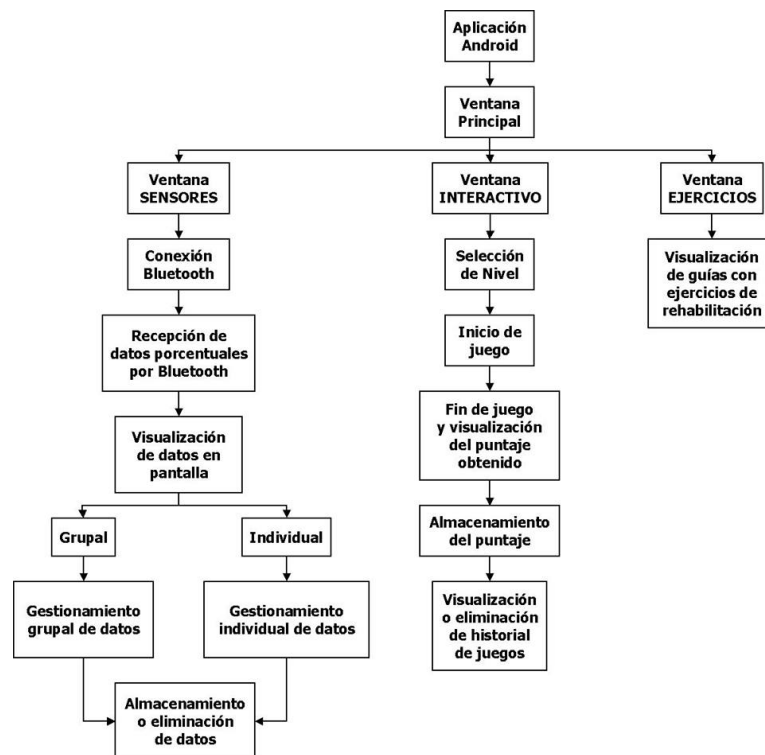


Diagrama que describe el funcionamiento de la aplicación móvil al recibir los datos, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Los elementos y las ventanas dentro de la aplicación son programados de manera gráfica, a través del enlace de elementos y estructuras, obteniendo una ventana en Android como lo muestra la Figura 3.11, los valores enviados a través del módulo bluetooth son recibidos en la aplicación móvil, aquí son almacenados en la base de datos local y se los puede visualizar para el posterior diagnóstico del médico a cargo de la rehabilitación o para que el paciente observe su avance.

Para el manejo de la aplicación móvil se navega con los botones que se despliegan en la página principal al ejecutarla, en esta interfaz cada uno de los botones interactúa de manera

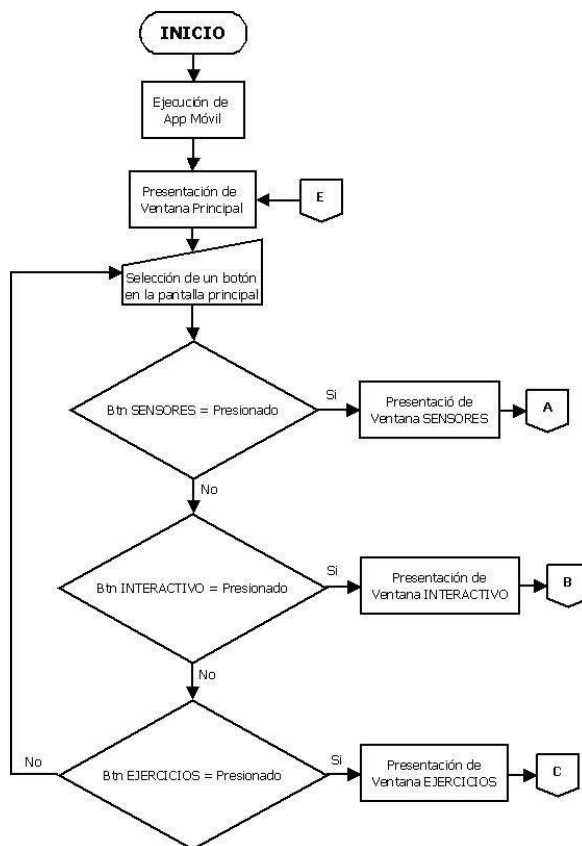
independiente, y redirigen hacia una actividad especificada como lo muestra el diagrama de flujo de la Figura 3.12.

Figura 3.11. Ventana principal de la aplicación móvil



Ventana principal de la aplicación móvil desarrollada en App Inventor, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Figura 3.12. Diagrama de flujo de la ventana principal en aplicación móvil



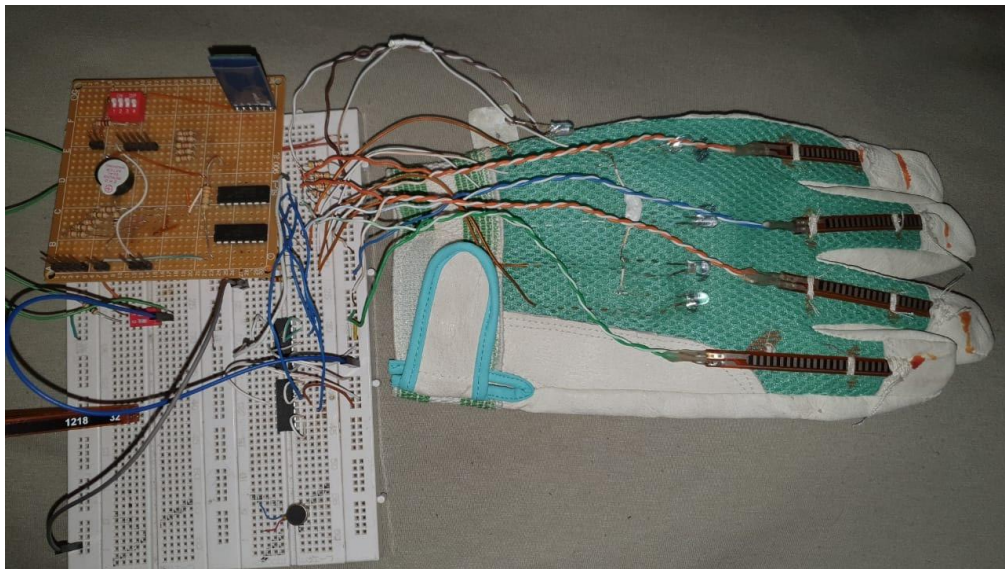
Proceso interacción de la ventana principal de la aplicación móvil, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

### 3.4. Construcción del primer prototipo

Para el Desarrollo del primer prototipo de guante se optó por usar sensores flexibles de 2,5 pulgadas repartidos en uno para cada dedo en un guante de cuerina y malla, como lo muestra la Figura 3.13, el circuito de acondicionamiento seleccionado es el buffer, que se lo implementa con los amplificadores operacionales LM324 y LM358.

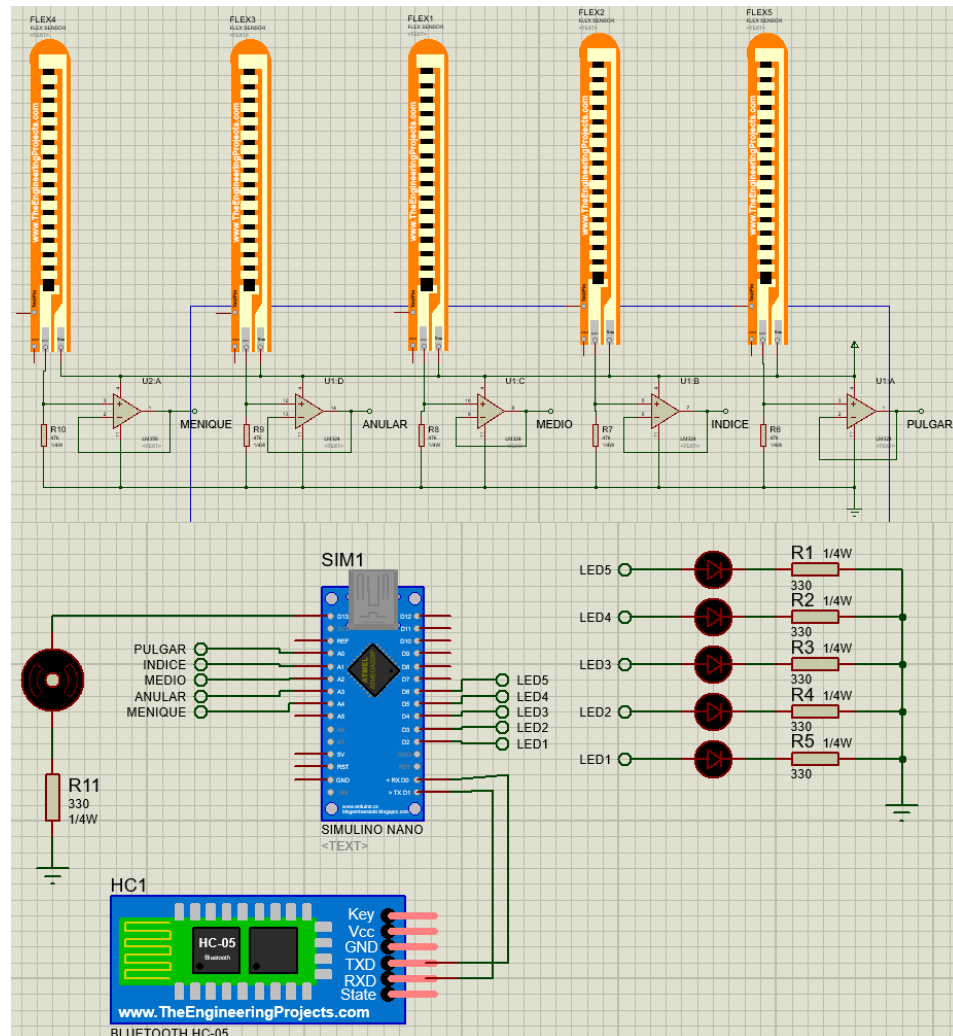
Como lo menciona la sección 3.2.5, se ubican 5 LED's para la señalización de cada dedo a trabajar, además del módulo bluetooth para la comunicación con la aplicación móvil y todo se activa con un switch que permite la alimentación de una batería Li.-Po de 7,4 Voltios, conectada al Arduino NANO y del PIN de 5 Voltios se energizara al resto de los elementos y conexiones dispuestas en una placa y un protoboard, el diseño del circuito lo muestra la Figura 3.14, el mismo circuito será implementado en los dos guantes.

Figura 3.13. Prototipo de guante número 1



Vista superior del primer prototipo de guante, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Figura 3.14. Circuito implementado en el guante



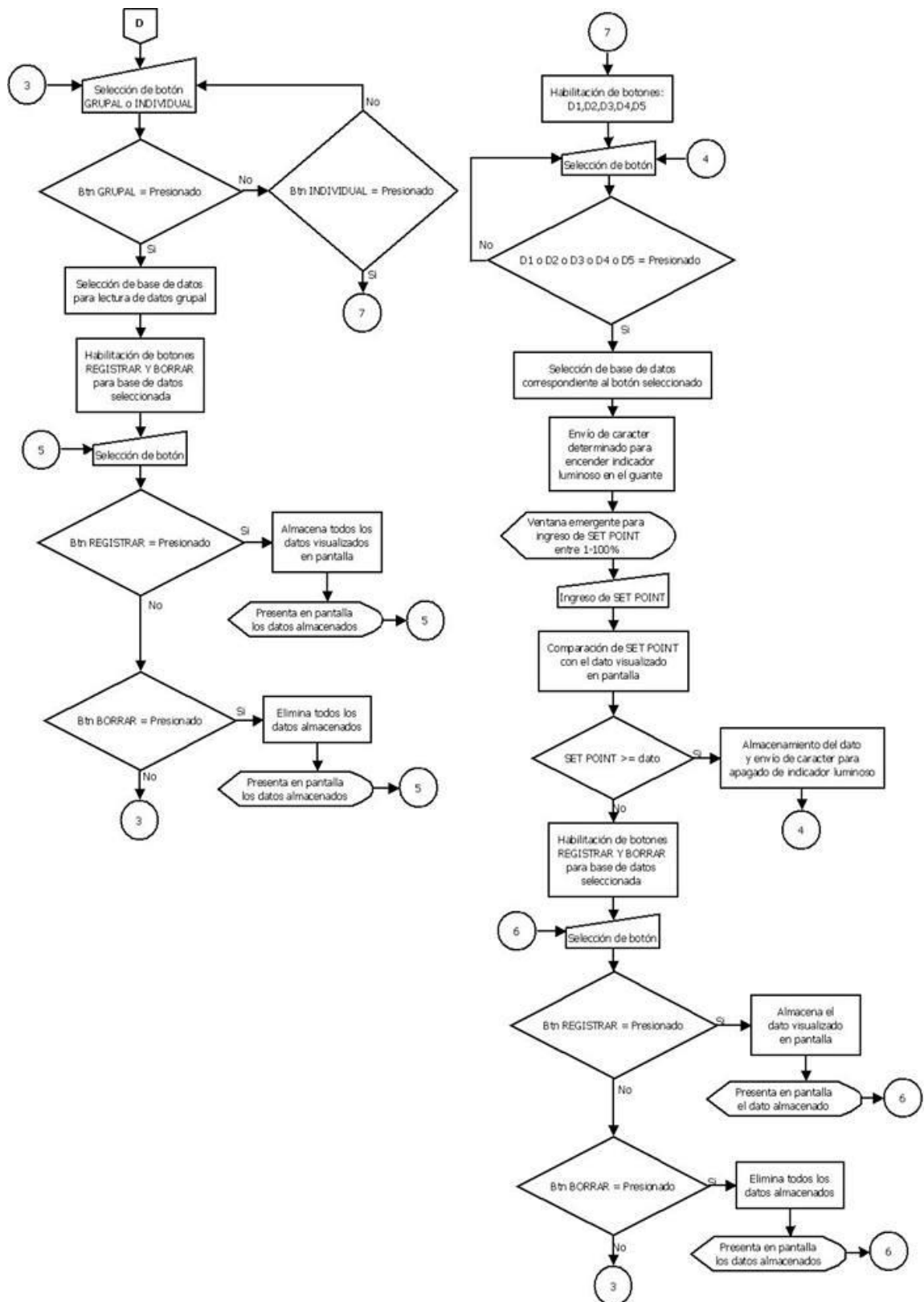
Diseño del circuito para la recepción, señalización y envío de datos de los sensores de una mano, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel.

### 3.5. Programación de la aplicación móvil

#### 3.5.1. Ventana “SENSORES”

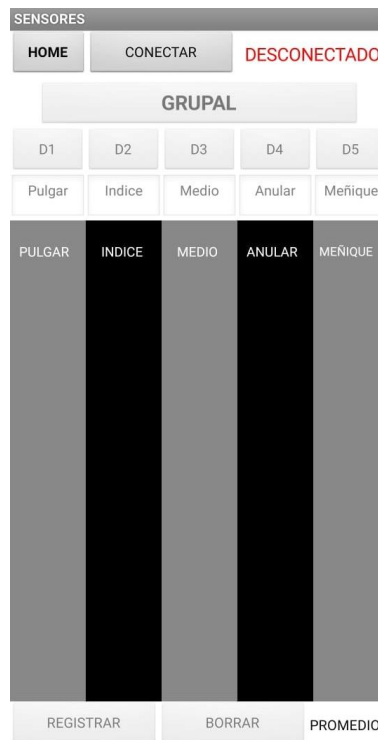
En esta ventana mostrada en la Figura 3.16 se visualizarán y almacenarán los datos leídos de los sensores del guante. Esta interfaz permite leer los valores generados por los sensores tanto de forma grupal, es decir, leer y almacenar los datos recibidos de los cinco sensores, así como, de forma individual según lo requiera el usuario el diagrama de flujo de su funcionamiento lo muestra la Figura 3.15.

Figura 3.15. Diagrama de flujo de la ventana SENSORES



Proceso de ejecución de la ventana SENSORES, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Figura 3.16. Ventana sensores



Ventana en la aplicación móvil para la recolección de valores de los sensores, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

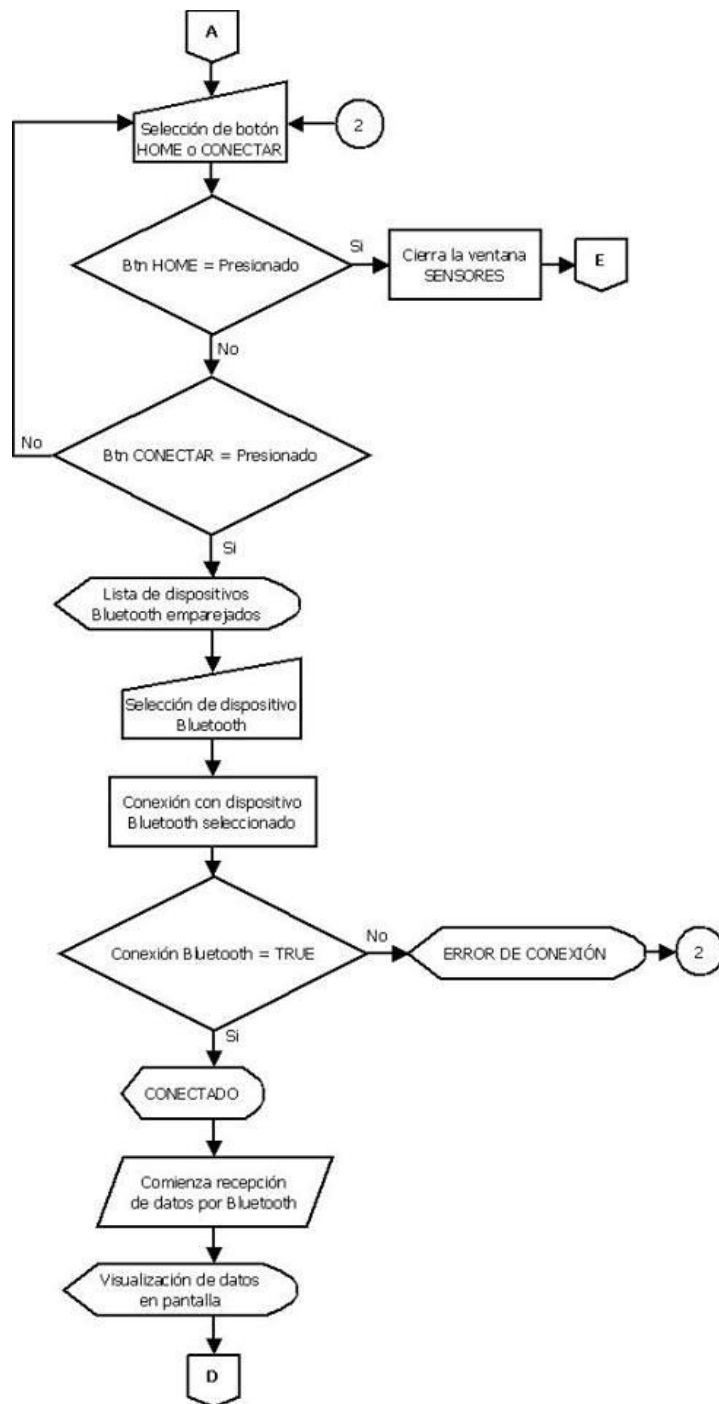
**Botón HOME:** Este botón permite regresar a la ventana principal de la App y terminar la conexión Bluetooth.

**Botón CONECTAR:** Este botón trabaja en dos partes: Antes de la selección y después de la selección. Cuando es presionado este botón despliega una lista de los nombres de los dispositivos Bluetooth vinculados al SmartPhone su proceso de ejecución lo muestra el diagrama de flujo de la Figura 3.17.

Luego de realizar la selección del nombre correspondiente al dispositivo Bluetooth incorporado al guante se establece la conexión. En este mismo bloque de programación se encarga de mostrar diferentes mensajes según sea el estado de conexión: CONECTADO, DESCONECTADO, ERROR DE CONEXIÓN, los cuales aparecerán en color de texto verde, rojo y rojo respectivamente.

Dependiendo del estado de conexión, se habilitará o deshabilitará los botones que permiten seleccionar una lectura de datos grupal o individual, así como también los botones que permiten guardar los datos recibidos de los sensores o borrar los mismos.

Figura 3.17. Diagrama de flujo de conexión bluetooth



**Bloque lectura de datos:** El siguiente bloque permite recibir los datos de los cinco sensores del guante, separarlos y clasificarlos de acuerdo con el dato del dedo correspondiente para ser presentados en los respectivos campos de visualización en la interfaz.

**Botón GRUPAL y botón INDIVIDUAL:** Este permite intercambiar la forma de lectura y almacenamiento de los datos recibidos desde el guante. Cuando la App inicia por default la lectura de los datos será grupal, es decir, la lectura de los cinco sensores es en simultáneo, al presionar el botón el texto de este cambia a INDIVIDUAL y la forma de lectura de los datos pasa a ser independiente.

A su vez se activan los botones que permiten seleccionar de cual sensor se desea realizar la lectura de datos, y se muestra la base de datos de los valores guardados individuales y cuando es presionado nuevamente el texto del botón cambia a GRUPAL y los botones de selección de sensores individuales se desactivan y se muestra la base de datos correspondiente a los valores grupales guardados.

**Lectura grupal de datos:** En este modo grupal los botones de selección individual D1, D2, D3, D3 y D5 se encuentran inhabilitados y se tiene una sola base de datos en la cual se almacenan los valores de los cinco sensores en simultáneo y cuenta con un botón de registro y eliminación de datos propios del modo grupal.

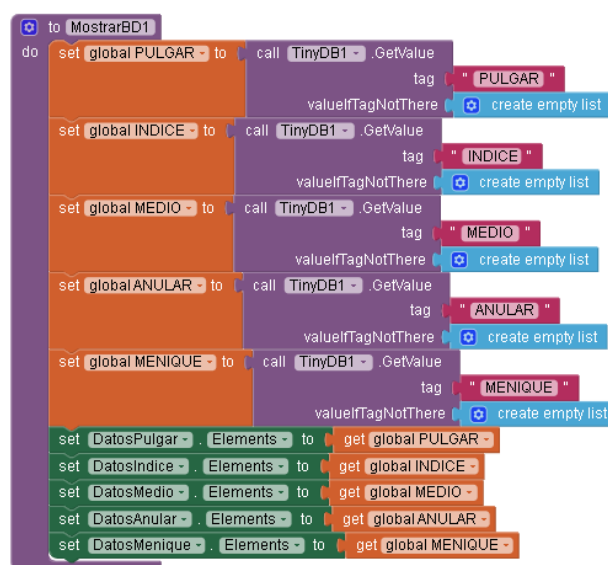
**Botón REGISTRAR:** Este permite almacenar los cinco valores de lectura de los sensores que se visualizan en la interfaz en la base de datos.

**Botón BORRAR:** Este botón permite eliminar todos los valores de lectura de los sensores que se hayan almacenado en la base de datos previamente.

**Bloque base de datos:** Este bloque permite mostrar los valores almacenados de forma permanente en la base de datos, la creación de este bloque lo muestra la Figura 3.18.



Figura 3.18. Programación para la base de datos



Bloque de programación para la administración de la base de datos de valores de lectura de los sensores,  
Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

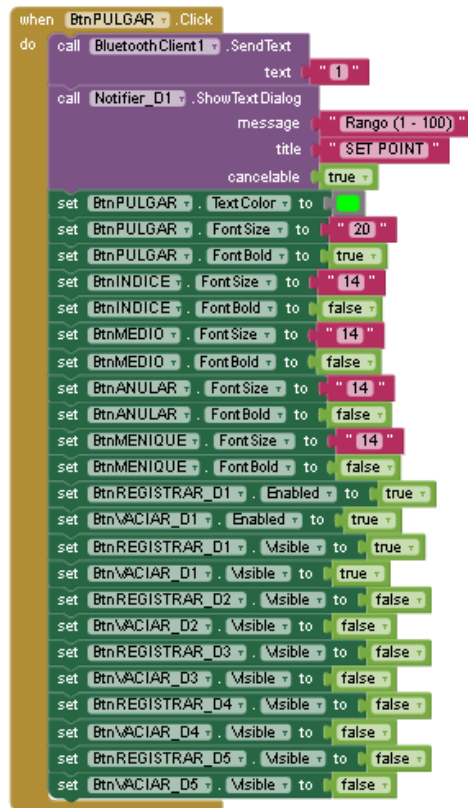
Lectura individual de datos: En el modo individual de lectura de datos los botones D1, D2, D3, D4 y D5 se encuentran habilitados, además en este modo se cuenta con cinco bases de datos para el almacenamiento independiente de los valores recibidos por los sensores, además de un botón de registro y eliminación para cada base de datos: D1 dedo pulgar, D2 dedo índice, D3 dedo medio, D4 dedo anular, D5 dedo meñique.

Los botones D1, D2, D3, D4 y D5 son idénticos en su estructura de bloques y en la función que realizan, por lo tanto, se procederá a explicar solo un botón, para este caso será el botón D1 como lo muestra la Figura 3.19.

Botón D1: Al presionar este botón se encenderá una señal LED luminosa en el guante indicando el dedo seleccionado para la lectura del sensor, y se habilitarán los botones REGISTRAR y BORRAR correspondientes a la base de datos seleccionada, permitiendo el almacenamiento o eliminación de los datos que allí se encuentren, también, se inicia un evento de notificación, el cual muestra una pequeña ventana emergente, donde se debe ingresar un valor entre cero y cien por ciento, correspondiente a un set point, el cual

permite establecer un límite en la lectura del valor del sensor que se desea el paciente alcance.

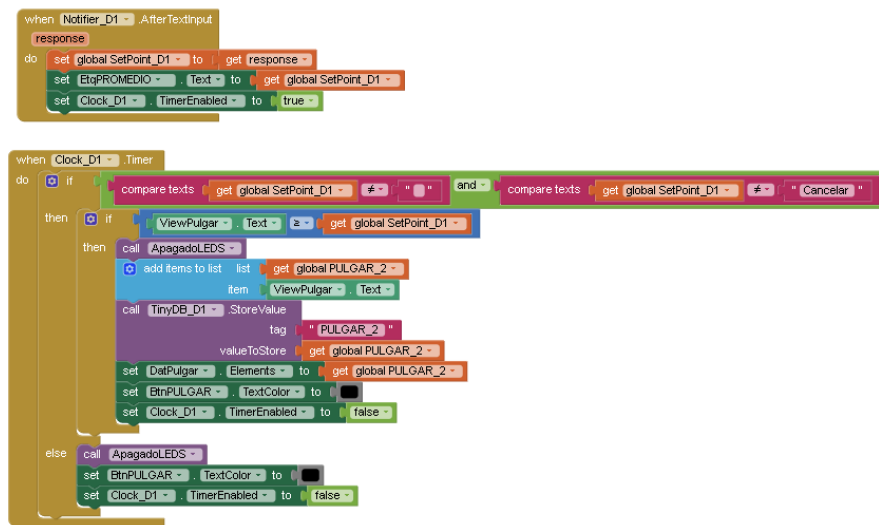
Figura 3.19. Programación de interacción de botones individuales



Bloque de programación para la acción del botón D1, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

En el caso de no ingresar un valor y seleccionar “OK” o “Cancelar” lo único que se hará es seleccionar la base de datos correspondiente, en el caso de ingresar un valor este comenzará a compararse con la lectura del sensor, si se alcanza el valor del set point este se guardará de forma automática y caso contrario, se podrá utilizar el botón REGISTRAR para almacenar el valor más cercano que haya logrado alcanzar, el desarrollo de su programación lo muestra la Figura 3.20.

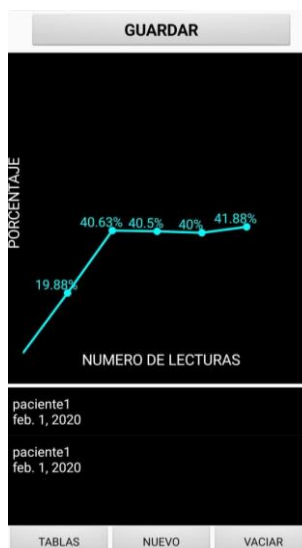
Figura 3.20. Programación para la ejecución del botón D1



Bloque de interacción al presionar el botón D1, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Botón GRÁFICA: este botón permite trasladarse a la ventana que muestra la Figura 3.21, en la cual los valores porcentuales de flexión general de la mano son graficados y mostrados en el plano Número de lectura vs Porcentaje, aquí son almacenados con la fecha en la cual se realiza la lectura para que el médico encargado pueda analizar los datos obtenidos.

Figura 3.21 Ventana de gráficos porcentuales

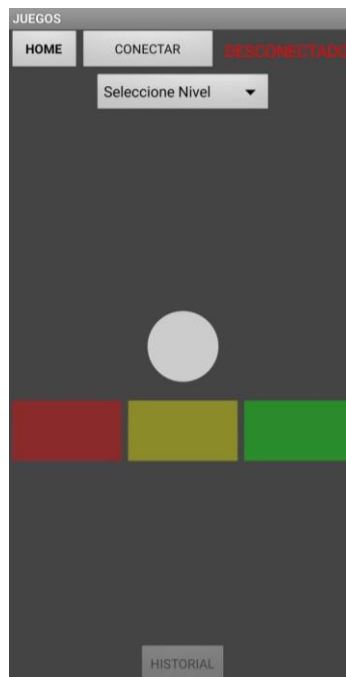


Ventana que muestra los porcentajes de flexión total de la mano de forma gráfica, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

### 3.5.2. Ventana “INTERACTIVO”

En esta ventana que muestra la Figura 3.22, se observa la interfaz de un juego que cuenta con tres niveles de dificultad: FÁCIL, MEDIO, DIFÍCIL. Además, cuenta con una base de datos para el registro del puntaje obtenido al finalizar el juego, así como la posibilidad de borrar dicha base de datos, esta ventana puede o no trabajar en conjunto con el guante, es decir, no es imprescindible que esté conectado vía Bluetooth con el guante.

Figura 3.22. Ventana INTERACTIVO



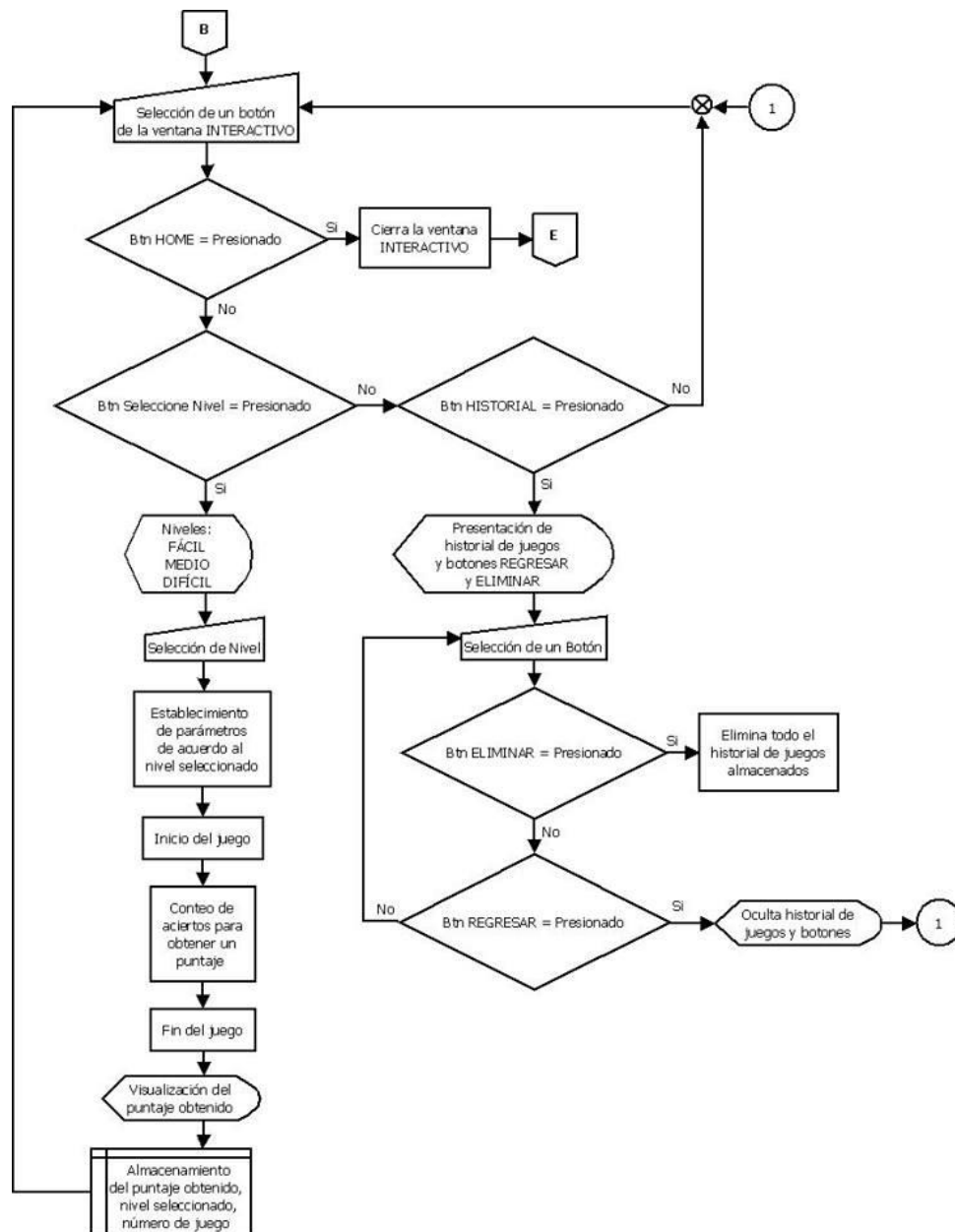
Ventana del juego interactivo en la aplicación móvil, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

La didáctica del juego es encender de forma aleatoria y por un tiempo predeterminado un indicador en pantalla que le mostrará al usuario que botón debe presionar según corresponda al color indicado, el usuario tiene una sola oportunidad para presionar el botón correspondiente antes que el indicador cambie de color, la cantidad de botones que se muestran en pantalla también depende del nivel seleccionado variando entre tres y cuatro botones.

Una vez seleccionado el nivel un conteo regresivo se indicará en pantalla para alertar al usuario que el juego comenzará y se iniciará la reproducción de una canción mientras se

realiza la didáctica del juego antes mencionada, al finalizar el juego se presentará en pantalla el porcentaje de acierto que obtuvo y la posibilidad de ingresar al historial de juegos para visualizar los puntajes obtenidos en cada juego, el proceso de la ejecución de la ventana INTERACTIVO lo muestra la Figura 3.23.

Figura 3.23. Diagrama de flujo ventana INTERACTIVO



Proceso de ejecución de la interfaz en la ventana INTERACTIVO de la aplicación móvil, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

**Botón Seleccione Nivel:** Este botón permite seleccionar el nivel de dificultad del juego de entre los tres siguientes: FÁCIL, MEDIO y DIFÍCIL. Los cuales se mostrarán mediante una ventana emergente luego de ser presionado, y establecer los parámetros para el nivel seleccionado, como el intervalo de tiempo entre el cambio de color del indicador, la cantidad de botones que debe mostrar, la orientación de la pantalla (vertical, horizontal).

**Bloque RANDOM:** Este bloque permite generar un número aleatorio entre cero y cuatro dependiendo del nivel seleccionado, el cual permite cambiar el color del indicador en pantalla, también se encarga de comprobar que los números generados no se repitan.

**Botones del juego:** Estos botones contabilizan la cantidad de aciertos del usuario durante el juego. La cantidad de botones depende del nivel seleccionado siendo entre tres y cuatro botones los mostrados en pantalla, así como sus colores: rojo, amarillo, verde y azul.

**Botón HISTORIAL:** Este botón se activa únicamente al finalizar un juego por completo y permite visualizar la base de datos que almacena los puntajes obtenidos por el usuario en cada intento de juego mostrando: el número de intento, nivel del juego y el puntaje obtenido en el mismo.

### **3.5.3. Ventana “EJERCICIOS”**

Finalmente, la aplicación móvil incluye un apartado de imágenes que muestran los ejercicios que se realizan durante el trabajo de rehabilitación, para que el paciente pueda continuar con el trabajo sin la necesidad de la supervisión del médico encargado.

## **3.6.Pruebas con el primer prototipo**

Las pruebas realizadas con el primer prototipo del guante fueron realizadas en la Fundación de ayuda social La Buena Semilla, los doctores Luis Tapia y Katherine Pozo supervisaron el manejo del guante con la aplicación móvil en sus pacientes (Figuras 3.24 y 3.26).

Figura 3.24. Pruebas funcionamiento del guante con el primer paciente



Ejercicios de rehabilitación a cargo de la Dr. Katherine Pozo, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

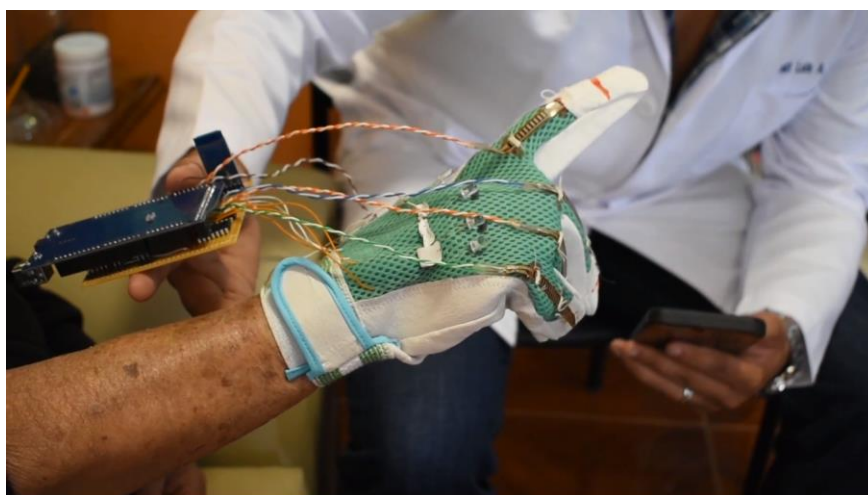
Los datos obtenidos en la aplicación móvil con el paciente número 1 al realizar los ejercicios de rehabilitación, se los observa en la figura 3.25, el porcentaje movilidad de todos los dedos de la mano se muestran en la sección GRUPAL de la ventana SENSORES que se almacenan en la base de datos de la misma aplicación móvil.

Figura 3.25. Visualización de datos grupales en aplicación móvil

</

Ventana de recopilación de datos grupales en la aplicación móvil, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel


Figura 3.26. Pruebas funcionamiento del guante con el segundo paciente



Ejercicios de rehabilitación a cargo del Dr. Luis Tapia, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Los datos obtenidos con la aplicación móvil con el paciente número 2 al realizar los ejercicios de rehabilitación, se los observa en la Figura 3.27, se observa el porcentaje en la movilidad individual de cada dedo de la mano derecha y se almacenan en la base de datos.

Figura 3.27. Visualización de datos individuales en aplicación móvil



75%

01:35

SENSORES

CONECTAR

DESCONECTAR

CONECTADO

INDIVIDUAL

D1	D2	D3	D4	D5
45	19	26	99	99
PULGAR	INDICE	MEDIO	ANULAR	MENIQUE
33	42	23	11	88
1	16	64	65	86
	0	83	99	99

HOME

REGISTRAR

BORRAR

Ventana de recopilación de datos individuales en la aplicación móvil, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel



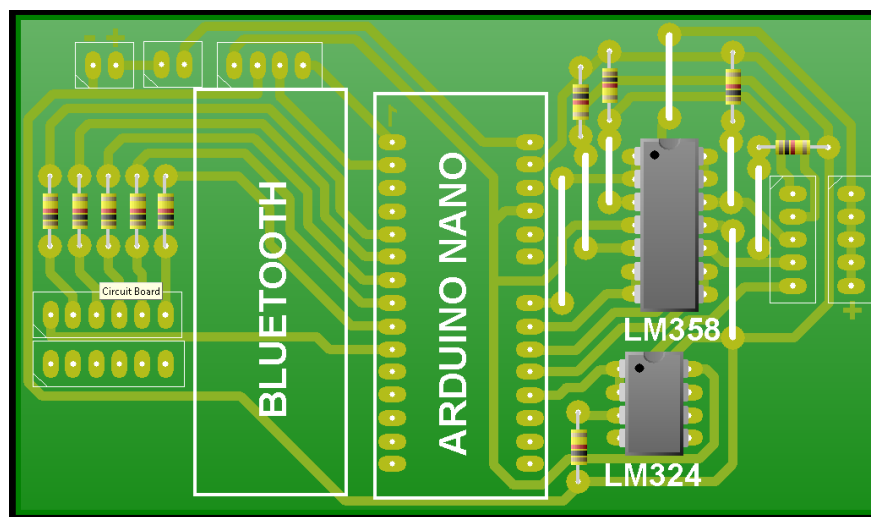
Luego de realizar las pruebas con los pacientes, y con la ayuda de los doctores Luis Tapia y Katherine Pozo, se determinó que los valores obtenidos en las Figuras 3.25 y 3.27 no fueron precisos, esto debido a que el tamaño de los sensores utilizados en el primer prototipo, no abarcan en su totalidad las articulaciones de los dedos, por lo que se decidió cambiar y aumentar el tamaño de los sensores.

### 3.7. Construcción del segundo prototipo

Tras realizar las pruebas con el primer prototipo y los resultados obtenidos se cambiaron los sensores flexibles de 2,2 pulgadas, por sensores flexibles de 4,5 pulgadas, manteniendo el circuito de acondicionamiento de la señal con los circuitos integrados LM324 y LM358.

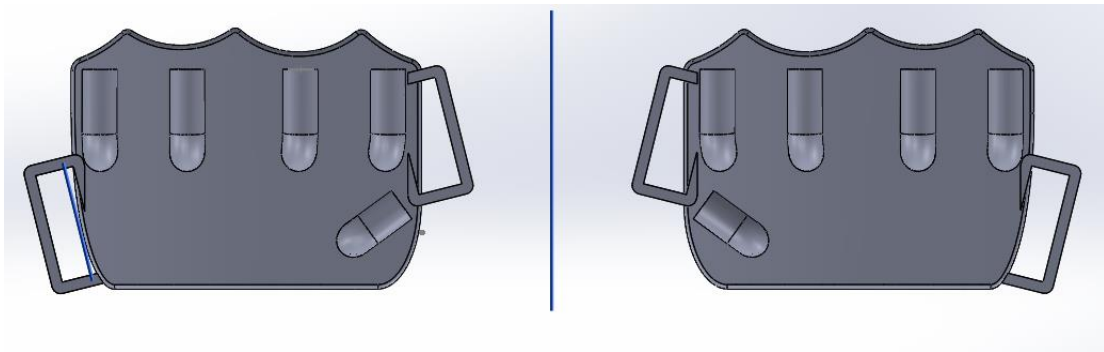
Para los elementos de comunicación y de visualización también se mantiene la misma configuración electrónica y estructural, el esquema del circuito diseñado para su impresión y armado lo muestra la Figura 3.28, unicamente variando los valores en programación, debido a que los valores en resistencia varían al ser sensores de mayor tamaño, adicionalmente en el software SOLIDWORKS se diseñó la estructura de la Figura 3.29, dentro de la cual se ubican los elementos electronicos para su proteccion como lo muestra la Figura 3.30 a los guantes completamente armados y funcionales.

Figura 3.28. Esquema del circuito del guante



Diseño para impresión del circuito en el software PCB Wizard, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Figura 3.29. Diseño 3D de la carcasa del guante



Modelado para la impresión del recubrimiento de la parte electrónica del guante, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Figura 3.30. Construcción del segundo prototipo de guantes



Colocación de las estructuras impresas en 3D en los guantes por la cual pasa el cableado de los elementos electrónicos, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Para el nuevo diseño es necesario calibrar los sensores de 4,5 pulgadas, por lo tanto, los valores de resistencia máxima y mínima de los sensores deben ser medidos nuevamente, y son mostrados para la mano izquierda en la Tabla 3.3, y para la mano derecha en la Tabla 3.4.

Tabla 3.3. Valores de resistencia mano izquierda

Sensor	Código	Resistencia min k $\Omega$	Resistencia max k $\Omega$
Meñique	1	14,08	24,12
Anular	3	10,2	21,5
Medio	6	11,93	23,46
Índice	7	11,54	23,86
Pulgar	18	11,47	22,94

Resistencias máximas y mínimas medidas para cada sensor de la mano izquierda: Autores Cazar Sebastián, Imba Daniel

Tabla 3.4. Valores de resistencia mano derecha

Sensor	Código	Resistencia min k $\Omega$	Resistencia max k $\Omega$
Meñique	28	10.37	22.14
Anular	29	10,94	23.06
Medio	31	10.84	22.77
Índice	32	12.27	24.12
Pulgar	37	9,85	21.63

Resistencias máximas y mínimas medidas para cada sensor de la mano derecha: Autores Cazar Sebastián, Imba Daniel

## **CAPÍTULO 4**

### **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En el presente capítulo se efectuará el análisis realizado durante el desarrollo del proyecto y se presentarán los resultados obtenidos a través de las pruebas realizadas con los guantes.

#### **4.1. Análisis del primer prototipo**

Se realizaron las pruebas pertinentes con el primer prototipo del guante, enviando los datos de los sensores flexibles de 2,2 pulgadas hacia la tarjeta de adquisición de datos para su acondicionamiento, posteriormente los valores obtenidos fueron enviados a través del canal serial con el módulo bluetooth para su visualización en la ventana de datos grupales de la aplicación móvil.

Los valores observados en la aplicación móvil en la sección 3.6 fueron generados por el movimiento de cada uno de los dedos, pero la dimensión de los sensores flexibles y los valores de resistencia teórica de los elementos ingresados en la programación originaron errores de lectura, por lo tanto, los datos obtenidos no reflejaron el movimiento que se efectuó con los dedos; además la alimentación del guante es de una fuente cableada por lo que tanto la colocación como el movimiento que se debía realizar resultaba molesto en ciertas ocasiones.

Para el desarrollo del primer prototipo se invirtió un total de 193,45 dólares, los cuales en la Tabla 4.1 se detallan los valores y los elementos empleados en su construcción.

Tabla 4.1. Precio de desarrollo del primer prototipo

Descripción	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Par de guantes (cuerina)	1	12,00	12,00
Sensor flexible 2,2"	5	20,00	100,00
LED's	5	0,05	0,25
Amplificador operacional LM324	2	0,40	0,80
Arduino MEGA	1	30,00	30,00
Módulo Bluetooth HC05	1	7,00	7,00
Resistencias	11	0,20	2,20
Cable UTP (metro)	1	0,65	0,65
Dip Switch	1	0,25	0,25
Placa tipo galleta	1	12,00	12,00
Motor vibrador	1	2,50	2,50
Rollo de estaño	1	8,00	8,00
Tira de espadines macho	1	0,80	0,80
Protoboard	1	13,00	13,00
Cables de conexión	1	4,00	4,00
		<b>TOTAL</b>	193,45

Desglose de gastos realizados en el desarrollo del primer prototipo de guante, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

#### 4.2. Análisis del segundo prototipo

Para el segundo prototipo de guante se reemplazaron los sensores flexibles por los de mayor tamaño de 4,5 pulgadas, estos se adaptan de mejor manera al tamaño de los dedos y a su movimiento de flexión, mejorando así la lectura de los sensores; además se fijó los sensores a los guantes utilizando un canal de tela que evita su movimiento fuera de la posición en la cual se deben mantener, en un guante de diferentes materiales, con tela elástica permitiendo mayor movilidad de flexión de los dedos.

Los valores de resistencia utilizados para el acondicionamiento de señal fueron modificados y medidos, para obtener datos reales de las resistencias de 3,3k $\Omega$  de 1/4Watt, mejorando así el cálculo en la programación y ofreciendo un escalonamiento más exacto en el movimiento y activación de los sensores con los dedos.

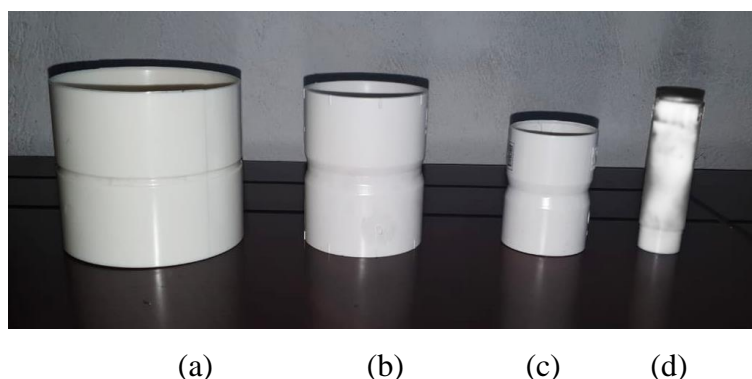
Los elementos electrónicos de señalización y el cableado pasan a través de un diseño de impresión 3D para su protección, los cables visibles son protegidos con recubrimiento

térmico para su siguiente etapa en el circuito impreso en baquelita, el circuito impreso también tiene su protección con una caja impresa en 3D en donde se ubican elementos tales como: Arduino NANO, módulo Bluetooth, amplificadores operacionales, resistencias, switch y batería.

Debido a los requerimientos de la empresa y las pruebas previas realizadas la fuente de alimentación para el Arduino NANO se la cambio por una batería Li-Po de 7,4 Voltios, evitando así el cableado de alimentación que resultaba incomodo, y suministrando los 5 Voltios necesarios para la activación de los demás elementos a través del puerto propio de la tarjeta Arduino.

La medición de los valores obtenidos del porcentaje de flexión de los dedos, se la realizó con los elementos propios de rehabilitación (Figura 4.1) usados por parte del doctor Luis Tapia, los elementos cilíndricos que deben sujetar los pacientes son medidos proporcionalmente desde la palma abierta siendo este un valor de 0% hasta un puño totalmente cerrado, el cual está definido como una mano totalmente rehabilitada por parte del médico, con un valor de 100%, la variación de los porcentajes establecidos por el doctor para cada cilindro se las define como: Grande 40% Figura 4.1 (a), Mediano 50% Figura 4.1 (b), Pequeño 70% Figura 4.1 (c) y Extrapequeño 80% Figura 4.1 (d).

Figura 4.1. Material de reahabilitación de manos



Elementos usados en el tratamiento de rehabilitación par apacientes con perdida motriz en manos,  
Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Al realizar las pruebas tanto en un paciente con daño motriz en su mano derecha, y en una persona que tiene completa movilidad y flexibilidad en las articulaciones de la mano, y con la supervisión del doctor a cargo de la rehabilitación el doctor Luis Tapia se obtuvieron los resultados mostrados en las Tablas 4.2 y 4.3, de la mano derecha con pérdida motriz, 4.6 y 4.7 en la mano izquierda con completa movilidad del paciente, y los valores de las Tablas 4.4 y 4.5, de la mano derecha, 4.8 y 4.9 en la mano izquierda para una persona con completa movilidad.

Los valores obtenidos son promediados, obteniendo un valor de porcentaje general para cada tamaño de cilindro y compararlos con el nivel de flexión deseado por parte del médico. Cada dedo tiene su correspondiente variable: pulgar D1, índice D2, medio D3, anular, D4 y meñique D5, siendo los mismos en ambas manos.

Tabla 4.2. Pruebas 1 y 2 a paciente con pérdida motriz mano derecha

Cilindro	Prueba 1					Prueba 2					Variación %	Promedio %
	D1 %	D2 %	D3 %	D4 %	D5 %	D1 %	D2 %	D3 %	D4 %	D5 %		
Abierta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grande	20	41	42	40	42	22	42	41	40	41	22	37,1
Mediano	43	55	58	53	51	44	54	56	51	51	15	51,6
Pequeño	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Extrapequeño	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cerrada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Valores de las pruebas 1 y 2 realizadas al paciente en la mano con pérdida motriz, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Tabla 4.3. Pruebas 3 y 4 a paciente con pérdida motriz mano derecha

Cilindro	Prueba 3					Prueba 4					Variación %	Promedio %
	D1 %	D2 %	D3 %	D4 %	D5 %	D1 %	D2 %	D3 %	D4 %	D5 %		
Abierta	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0,3
Grande	21	41	41	40	41	18	41	40	40	41	23	36,4
Mediano	44	55	58	51	51	45	55	59	50	51	15	51,9
Pequeño	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Extrapequeño	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cerrada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Valores de las pruebas 3 y 4 realizadas al paciente en la mano con pérdida motriz, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Al observar y comparar los valores de las Tablas 4.2 y 4.3 obtenidos de las 4 pruebas realizadas en el paciente, se determinó que para la mano Abierta, se tiene una variación de 1% entre los valores medidos y dando un promedio de 0,15%; para el cilindro Grande una variación de 23% y un promedio de 36,75%; para el cilindro Mediano una variación de 15% y un promedio de 51,75%; para los cilindros Pequeño, Extrapequeño y valores de mano completamente cerrada, se los mantiene nulos debido a que el paciente no posee la movilidad suficiente para trabajar aún en esos valores.

Tabla 4.4. Pruebas 1 y 2 a persona con completa movilidad en mano derecha

<b>Cilindro</b>	<b>Prueba 1</b>					<b>Prueba 2</b>					<b>Variación %</b>	<b>Promedio %</b>
	<b>D1 %</b>	<b>D2 %</b>	<b>D3 %</b>	<b>D4 %</b>	<b>D5 %</b>	<b>D1 %</b>	<b>D2 %</b>	<b>D3 %</b>	<b>D4 %</b>	<b>D5 %</b>		
Abierta	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0,1
Grande	19	41	40	40	42	18	41	40	40	42	24	36,3
Mediano	45	55	58	50	51	45	56	58	51	51	13	52
Pequeño	71	68	70	61	64	71	70	69	62	64	10	67
Extrapequeño	75	83	82	82	83	75	84	82	81	82	9	80,9
Cerrada	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100

Valores de las pruebas 1 y 2 realizadas a persona con completa motricidad en la mano derecha, Autores:

Cazar Sebastián, Imba Daniel

Tabla 4.5. Pruebas 3 y 4 a persona con completa movilidad en mano derecha

<b>Cilindro</b>	<b>Prueba 3</b>					<b>Prueba 4</b>					<b>Variación %</b>	<b>Promedio %</b>
	<b>D1 %</b>	<b>D2 %</b>	<b>D3 %</b>	<b>D4 %</b>	<b>D5 %</b>	<b>D1 %</b>	<b>D2 %</b>	<b>D3 %</b>	<b>D4 %</b>	<b>D5 %</b>		
Abierta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grande	20	41	41	40	42	20	41	42	40	42	22	36,9
Mediano	44	55	58	50	51	45	55	58	51	52	14	51,9
Pequeño	69	70	70	62	65	71	71	70	61	66	10	67,5
Extrapequeño	75	84	82	80	81	74	83	82	80	81	10	80,2
Cerrada	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100

Valores de las pruebas 3 y 4 realizadas a persona con completa motricidad en la mano derecha, Autores:

Cazar Sebastián, Imba Daniel

Al observar y comparar los valores de las Tablas 4.4 y 4.5 obtenidos de las 4 pruebas realizadas a la persona con completa movilidad, se determinó que para la mano Abierta, se tiene una variación de 1% entre los valores medidos y un promedio de 0,05%; para el



cilindro Grande una variación de 24% y un promedio de 36,6%; para el cilindro Mediano una variación de 14% y un promedio de 51,95%; para el cilindro Pequeño una variación de 10% y un promedio de 67,25%; para el cilindro Extrapequeño una variación de 10% y un promedio de 80,55%; para la mano completamente cerrada una variación de 0% y un promedio de 100%.

De los valores de porcentaje obtenidos en las diferentes pruebas se puede determinar que los cilindros actúan de manera diferente tanto en los dedos con 3 falanges como en el pulgar, por lo que los porcentajes de flexión que reflejan los guantes no pueden ser generalizados, siendo necesario establecer valores individuales al momento de realizar el tratamiento de rehabilitación en el guante de la mano derecha.

Tabla 4.6. Pruebas 1 y 2 a paciente con movilidad en mano izquierda

Cilindro	Prueba 1					Prueba 2					Variación %	Promedio %
	D1 %	D2 %	D3 %	D4 %	D5 %	D1 %	D2 %	D3 %	D4 %	D5 %		
Abierta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,1
Grande	20	41	42	40	42	20	41	40	40	42	22	36,8
Mediano	44	55	58	51	51	46	55	58	51	51	14	52
Pequeño	70	69	69	61	65	71	69	69	61	64	10	66,8
Extrapequeño	74	84	82	80	82	75	82	83	80	79	10	80,1
Cerrada	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100

Valores de las pruebas 1 y 2 realizadas al paciente en la mano con pérdida motriz, Autores: Cazar

Sebastián, Imba Daniel

Tabla 4.7. Pruebas 3 y 4 a paciente con movilidad en mano izquierda

Cilindro	Prueba 3					Prueba 4					Variación %	Promedio %
	D1 %	D2 %	D3 %	D4 %	D5 %	D1 %	D2 %	D3 %	D4 %	D5 %		
Abierta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,1
Grande	19	40	40	40	43	19	42	40	40	42	24	36,5
Mediano	44	55	58	51	51	46	57	58	51	51	14	52,2
Pequeño	71	69	69	61	64	70	69	69	61	64	10	66,7
Extrapequeño	73	83	84	80	81	74	84	82	78	81	11	80
Cerrada	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100

Valores de las pruebas 3 y 4 realizadas al paciente en la mano con pérdida motriz, Autores: Cazar

Sebastián, Imba Daniel

Al observar y comparar los valores de las Tablas 4.6 y 4.7 obtenidos de las 4 pruebas realizadas al paciente, se determinó que para la mano Abierta, se tiene una variación de 1% entre los valores medidos y un promedio de 0,1%; para el cilindro Grande una variación de 24% y un promedio de 36,65%; para el cilindro Mediano una variación de 14% y un promedio de 52,1%; para el cilindro Pequeño una variación de 10% y un promedio de 66,75%; para el cilindro Extrapequeño una variación de 11% y un promedio de 80,05%; para la mano completamente cerrada una variación de 0% y un promedio de 100%.

Tabla 4.8. Pruebas 1 y 2 a persona con completa movilidad en mano izquierda

<b>Cilindro</b>	<b>Prueba 1</b>					<b>Prueba 2</b>					<b>Variación %</b>	<b>Promedio %</b>
	<b>D1 %</b>	<b>D2 %</b>	<b>D3 %</b>	<b>D4 %</b>	<b>D5 %</b>	<b>D1 %</b>	<b>D2 %</b>	<b>D3 %</b>	<b>D4 %</b>	<b>D5 %</b>		
Abierta	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,1
Grande	20	41	40	40	41	20	40	41	40	41	21	36,4
Mediano	44	55	58	41	52	46	55	59	41	50	18	50,1
Pequeño	70	68	68	61	65	70	69	69	61	65	9	66,6
Extrapequeño	75	83	84	81	81	74	83	81	80	80	10	80,2
Cerrada	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100

Valores de las pruebas 1 y 2 realizadas al paciente en la mano con pérdida motriz, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Tabla 4.9. Pruebas 3 y 4 a persona con completa movilidad en mano izquierda

<b>Cilindro</b>	<b>Prueba 3</b>					<b>Prueba 4</b>					<b>Variación %</b>	<b>Promedio %</b>
	<b>D1 %</b>	<b>D2 %</b>	<b>D3 %</b>	<b>D4 %</b>	<b>D5 %</b>	<b>D1 %</b>	<b>D2 %</b>	<b>D3 %</b>	<b>D4 %</b>	<b>D5 %</b>		
Abierta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Grande	20	40	41	40	42	21	40	40	40	42	22	36,6
Mediano	44	56	61	39	51	43	56	59	40	52	22	50,1
Pequeño	70	70	71	61	65	72	70	69	61	65	11	67,4
Extrapequeño	74	85	82	79	80	74	83	83	80	78	11	79,8
Cerrada	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	100

Valores de las pruebas 3 y 4 realizadas al paciente en la mano con pérdida motriz, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

Al observar y comparar los valores de las Tablas 4.8 y 4.9 obtenidos de las 4 pruebas realizadas a la persona con completa movilidad, se determinó que para la mano Abierta,

se tiene una variación de 1% entre los valores medidos y un promedio de 0,05%; para el cilindro Grande una variación de 22% y un promedio de 36,5%; para el cilindro Mediano una variación de 22% y un promedio de 50,1%; para el cilindro Pequeño una variación de 11% y un promedio de 67%; para el cilindro Extrapequeño una variación de 11% y un promedio de 80%; para la mano completamente cerrada una variación de 0% y un promedio de 100%.

De los valores de porcentaje obtenidos en las diferentes pruebas se puede determinar que los cilindros actúan de manera diferente tanto en los dedos con 3 falanges como en el pulgar, por lo que los porcentajes de flexión que reflejan los guantes no pueden ser generalizados debido al alto grado de variación, siendo necesario establecer valores individuales al momento de realizar el tratamiento de rehabilitación en el guante de la mano izquierda.

A continuación, en las Tablas 4.10 para la mano derecha y 4.11 para la mano izquierda, se muestran los valores promediados de cada dedo debido a la precisión obtenida de los datos de cada dedo, estableciendo el grado de variación del porcentaje y el error calculado con la Ec. (4.1) al que corresponde con cada cilindro, para ser usados por el doctor a cargo de la rehabilitación.

$$\varepsilon_p = \frac{|Valor\ teórico - Valor\ calculado|}{Valor\ teórico} \times 100\% \quad Ec. (4.1)$$

Tabla 4.10. Promedio individual para los dedos de la mano derecha

Cilindro	D1	$\varepsilon_p$	D2	$\varepsilon_p$	D3	$\varepsilon_p$	D4	$\varepsilon_p$	D5	$\varepsilon_p$
Abierta 0%	0,13	0,13	0,00	0	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
Grande 40%	19,75	50,6	41,13	2,8	40,88	2,2	40,00	0	41,63	4,1
Mediano 50%	44,38	11,2	55,00	10	57,88	15,8	50,88	1,8	51,13	2,3
Pequeño 70%	70,50	0,7	69,75	0,4	69,75	0,4	61,50	12,1	64,75	7,5
Extrapequeño 80%	74,75	6,5	83,50	4,4	82,00	2,5	80,75	0,9	81,75	2,2
Cerrada 100%	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0

Valores individuales de porcentaje para cada cilindro en la mano derecha, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel.

Tabla 4.11. Promedio individual para los dedos de la mano izquierda

<b>Cilindro</b>	<b>D1</b>	<b><math>\epsilon_p</math></b>	<b>D2</b>	<b><math>\epsilon_p</math></b>	<b>D3</b>	<b><math>\epsilon_p</math></b>	<b>D4</b>	<b><math>\epsilon_p</math></b>	<b>D5</b>	<b><math>\epsilon_p</math></b>
Abierta 0%	0,38	0,38	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0
Grande 40%	19,88	50,3	40,63	1,6	40,50	1,3	40,00	0	41,88	4,7
Mediano 50%	44,63	10,7	55,50	11	58,63	17,3	45,63	8,7	51,13	2,3
Pequeño 70%	70,50	0,7	69,13	1,2	69,13	1,2	61,00	12,9	64,63	7,7
Extrapequeño 80%	74,13	7,3	83,38	4,2	82,63	3,3	79,75	0,3	80,25	0,3
Cerrada 100%	100	0	100	0	100	0	100	0	100	0

Valores individuales de porcentaje para cada cilindro en la mano izquierda, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel.

Cabe recalcar que los errores generados por la lectura de los sensores en los guantes no son una validación del funcionamiento del equipo en la rehabilitación del paciente, ya que los valores teóricos son dispuestos por el médico al iniciar la evaluación.

Para el desarrollo del segundo prototipo se invirtió un total de 494,90 dólares, los cuales en la Tabla 4.12 se detallan los valores y los elementos empleados en su construcción.

Tabla 4.12. Precio de desarrollo del segundo prototipo

<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Valor Unitario (\$)</b>	<b>Valor Total (\$)</b>
Par de guantes (elásticos)	1	7,00	7,00
Sensor flexible 4,5"	10	30,00	300,00
LED's	10	0,05	0,50
Amp. operacional LM324 y LM358	4	0,40	1,60
Arduino NANO	2	9,00	18,00
Módulo Bluetooth HC-06	2	7,00	14,00
Resistencias	40	0,20	8,00
Cable UTP (metro)	2	0,65	1,30
Switch	2	0,45	0,90
Circuito impreso PCB	2	11,00	22,00
Batería Li-Po 7,4V	2	15,50	31,00
Cargador de Li-Po	1	16,00	16,00
Motor vibrador	2	2,50	5,00
Tira de espadines hembra	2	0,80	1,60
Recubrimiento térmico (metro)	1	3,00	3,00
Impresiones 3D	1	57,00	57,00
<b>TOTAL</b>			<b>494,90</b>

Desglose de gastos del desarrollo del segundo prototipo, Autores: Cazar Sebastián, Imba Daniel

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

En el presente capítulo se determinarán las conclusiones a las cuales se llegaron durante el desarrollo del proyecto técnico, además se presentarán las recomendaciones pertinentes para el manejo de los guantes construidos.

#### **5.1. Conclusiones**

Se investigó la fisiología interna que genera el movimiento de la mano humana, para su aplicación en el desarrollo del prototipo de los guantes y se observó que el movimiento individual de cada dedo varía en el movimiento de sujeción de los diferentes tipos de elementos, por lo que no es posible establecer un porcentaje general que abarque en su totalidad cada uno de los cilindros utilizados en el proceso de rehabilitación; y aunque los valores de los dedos que poseen 3 falanges se acercan entre sí, se volvió necesaria la opción de valorar individualmente cada dedo por separado.

Se determinó que la calibración de los sensores flexibles se debe realizar con los valores medidos mas no con los valores nominales establecidos por el fabricante, aplicando el mismo proceso para cada uno de los sensores, ya que los valores medidos de cada sensor fueron diferentes a pesar de tratarse del mismo tipo de sensor, y en ningún caso los valores obtenidos pudieron ser reproducidos para aplicarlos de manera constante a cada sensor, además al tratarse de elementos análogos los valores entregados debieron pasar a través de un filtro digital por media, obteniendo así los datos porcentuales que son enviados para su evaluación en la aplicación móvil por parte del médico.

Se estableció la comunicación para el envío y recepción de los datos obtenidos de los sensores flexibles en cada uno de los dedos, entre la tarjeta Arduino NANO y la aplicación móvil utilizando el módulo bluetooth HC-06, debido a la necesidad del funcionamiento inalámbrico de los guantes por requerimiento de la empresa Kamay Solutions S.A., el uso

de este dispositivo fue suficiente ya que la comunicación de tipo serial, ya que permite enviar la cantidad necesaria de datos desde la tarjeta de adquisición de datos.

Se desarrolló la aplicación móvil a través del software App Inventor para controlar las diferentes funciones que procesan los guantes, y que permiten la obtención de los datos para su visualización y evaluación por parte del médico terapeuta, los valores porcentuales que se obtuvieron fueron establecidos dentro del proceso de rehabilitación con la ayuda del doctor Luis Tapia, a través de las pruebas realizadas con los cilindros usados en sus ejercicios, y adicionalmente se observó que tanto el paciente y el médico, son capaces de navegar a través de la interfaz desarrollada sin una extensa capacitación en los dispositivos móviles.

Se realizaron las gráficas porcentuales dentro de la interfaz de la aplicación móvil, las cuales, a través de la interpretación del médico dentro de los ejercicios establecidos con los elementos propios de rehabilitación, generaron errores de exactitud con respecto a los valores teóricos sugeridos por parte del terapeuta, sobre todo en los dedos pulgares en los cuales se registraron los valores más altos de error, sin embargo, la precisión en la lectura de los valores individuales de cada dedo fue significativamente alta por lo que se determinaron los datos obtenidos como válidos siendo relativos al trabajo específico que el terapeuta realiza.

Se determinó que la construcción de guantes para su uso en el proceso de rehabilitación de personas con pérdida motriz en las manos, fueron de gran utilidad ya que ayudaron tanto al médico para evaluar de manera más eficiente el grado de flexión en las articulaciones de los dedos y determinar un proceso específico de trabajo motriz, como para el paciente motivándolo al tener una herramienta visual y didáctica que se puede aplicar y manejar de manera sencilla.

Se observó que los errores obtenidos con respecto a los porcentajes sugeridos por el médico de los cilindros fue mayor en el dedo pulgar con un 50,6% en la mano derecha y 50,3% en la mano izquierda, con el cilindro especificado para una flexión del 40%, esto

debido a que el movimiento rotacional del pulgar al realizar la sujeción de los elementos no es medido por los sensores, únicamente se refleja la flexión que los dedos realizan, así se puede observar que el error disminuye a medida que la flexión va aumentando, obteniendo un error de 0% cuando se logra el puño completamente cerrado es decir al 100%, lo cual se denota como una mano completamente rehabilitada.

## **5.2. Recomendaciones**

Es necesaria la correcta colocación de los guantes en cada uno de sus dedos para una mejor lectura de los sensores.

Siempre se debe vincular el dispositivo móvil con el módulo Bluetooth del guante a usar la primera vez que se los vaya a conectar, después se reconocerá el guante directamente desde la aplicación.

Ajustar de manera segura las correas de los guantes para evitar movimiento innecesario de los mismos.

Mantener cargadas las baterías Li-Po, para asegurar que el circuito tenga la alimentación suficiente para su funcionamiento.

No dejar encendidos los guantes si no se los está utilizando para evitar pérdidas innecesarias de energía.

Evitar doblar los sensores de no ser necesario, únicamente hacerlo al realizar el trabajo de rehabilitación.

## LISTA DE REFERENCIAS

- Flexpoint Sensor Systems, Inc. (16 de 12 de 2019). *Flexpoint*. Obtenido de <https://www.flexpoint.com/>
- AG Electrónica S.A. de C.V. (01 de 09 de 2015). *AG Electrónica*. Obtenido de <https://www.agelectronica.com/>
- Arduino. (2019). *Arduino*. Obtenido de <https://store.arduino.cc/usa/>
- Autodesk Inc. (2019). *Autodesk*. Obtenido de <https://www.autodesk.com/>
- Dassault systems. (2019). *Solidworks*. Obtenido de <https://www.solidworks.com/es>
- Federación Española para la Lucha contra la Esclerosis Múltiple. (2019). *Esclerosis múltiple España*. Obtenido de <https://www.esclerosismultiple.com/>
- García-Porrero Pérez, J. A., & Hurlé González, J. M. (2020). *Anatomía Humana*. Santander: Panamericana.
- Gonzalez Corona, M. R. (2019). *LESIONES Y ENFERMEDADES DEL CODO, MANO Y DEDOS*. La Habana: CITMATEL.
- Google developers. (2019). *Android developers*. Obtenido de <https://developer.android.com/>
- Green, D., Hotchkiss, R., Pederson, W., & Wolff, S. (2020). *Cirugía de la mano*. Madrid: Marban.
- Guzmán, & Elizondo. (2015). *Anatomía en casos clínicos*. Médica.
- Itead studio. (2017). *ITEAD*. Obtenido de <https://www.itead.cc/>
- Martínez-Piédrola, R., Pérez de Heredia, M., & Gómez, C. (2015). *Terapia de la mano*. Madrid: Síntesis.
- Massachusetts Institute of Technology. (2019). *MIT App Inventor*. Obtenido de <https://appinventor.mit.edu/>
- Merle, M., & Portes, A. (2015). *Cirugía de la Mano: Enfermedades reumáticas, crónico-degenerativas y síndromes compresivos de nervio periférico*. Medellín: Amolca.
- Netter. (2015). *Atlas de la anatomía humana*. Elseiver.
- Platzer, Fritsch, & Kahle. (2016). *Atlas de anatomía con correlación clínica*. Médica.
- Prives, M., Lisenkov, N., & Bushkovich, V. (2017). *Anatomía humana*. Moscu: MIR.
- Spectra Symbol. (2019). *Spectrasymbol.com*. Obtenido de <https://www.spectrasymbol.com/product/flex-sensors/>



STM Microelectronics. (2019). *UTC*. Obtenido de  
[https://www.st.com/content/st\\_com/en.html](https://www.st.com/content/st_com/en.html)

Tapia, L. (2 de 12 de 2018). Rehabilitación motriz de la mano. (D. Imba, Entrevistador)

Universidad Complutense de Madrid. (18 de 02 de 2017). *Universidad Complutense de Madrid*. Obtenido de <https://www.ucm.es/data/cont/docs/420-2014-02-18-17%20Patologia%20de%20la%20Mano.pdf>

Zambrano, S. (12 de 09 de 2018). MakiTech. (S. Cazar, Entrevistador)